

AUS DER KLINIK FÜR ORTHOPÄDIE UND ORTHOPÄDISCHE CHIRURGIE
UNIVERSITÄTSKLINIKUM DES SAARLANDES
HOMBURG / SAAR

Mobilität im Alter

Beeinflusst die Arthrose des rechten Kniegelenkes die Fahrtüchtigkeit
und ab wann können Patienten nach einer rechtsseitigen
Knieprothesenimplantation wieder Auto fahren?

- eine prospektive Studie am Fahrsimulator -

DISSERTATION

Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2019

Vorgelegt von:
Franziska Alexandra Bürkle
Geboren am 08.06.1988 in Freiburg

Dekan: Univ.- Prof. Dr. M. Menger

Gutachter:

1. Prof. Dr. Anagnostakos

2. Prof. Dr. Pohlemann

3. Prof. Dr. Landgraeber

Jahr der Promotion: 2019

Tag der mündlichen Prüfung: 11. September 2019

Für
meine Familie

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ZUSAMMENFASSUNG | 3 |
| 1.1 | SUMMARY | 5 |
| 2 | EINLEITUNG | 7 |
| 2.1 | ARTHROSE DES KNIEGELENKS | 8 |
| 2.1.1 | Ätiologie..... | 8 |
| 2.1.2 | Epidemiologie | 9 |
| 2.1.3 | Symptome | 9 |
| 2.1.4 | Stadien | 10 |
| 2.1.5 | Diagnose | 10 |
| 2.1.6 | Therapie | 11 |
| 2.2 | MOBILITÄT IM ALTER | 14 |
| 2.2.1 | Demographischer Wandel | 14 |
| 2.2.2 | Warum Mobilität im Alter so wichtig ist..... | 16 |
| 3 | MATERIAL UND METHODEN | 19 |
| 3.1 | PATIENTEN..... | 19 |
| 3.2 | RÖNTGEN | 20 |
| 3.3 | IMPLANTATE..... | 21 |
| 3.4 | OPERATIONSVERFAHREN | 21 |
| 3.5 | NACHBEHANDLUNG | 22 |
| 3.6 | PROJEKTPARTNER | 22 |
| 3.7 | FAHRSIMULATOR..... | 23 |
| 3.8 | STUDIENDESIGN | 26 |
| 3.9 | FAHRAUFGABEN | 27 |
| 3.10 | PARAMETER | 29 |
| 3.10.1 | Reaktionszeiten..... | 29 |
| 3.10.2 | Untersuchung | 30 |
| 3.10.3 | Hospital for Special Surgery Score (HSS) nach Ranawat und Shine | 30 |
| 3.10.4 | Visuelle Analogskala U (VAS-U) | 31 |
| 3.10.5 | Visuelle Analogskala T (VAS-T) | 31 |
| 3.10.6 | Driving activity load index (DALI) Fragebogen..... | 31 |
| 3.10.7 | EuroQol-VAS | 32 |
| 3.10.8 | Abschlussfragebogen..... | 32 |
| 3.10.9 | Analgetikaeinnahme..... | 32 |
| 3.10.10 | Bildgebung..... | 33 |
| 3.11 | DATENERFASSUNG UND STATISTIK | 33 |
| 4 | ZIEL DER STUDIE | 34 |
| 4.1 | ZIEL DER STUDIE..... | 34 |
| 5 | ERGEBNISSE..... | 36 |
| 5.1 | ANALYSE DER BREMSREAKTIONZEITEN | 36 |
| 5.1.1 | Verlangsamungsereignis..... | 36 |
| 5.1.2 | Vollbremsungsereignis..... | 38 |
| 5.1.3 | Langzeitverlauf | 40 |
| 5.2 | KLINISCHE UNTERSUCHUNG | 43 |
| 5.3 | HOSPITAL FOR SPECIAL SURGERY SCORE (HSS) NACH RANAWAT UND SHINE | 44 |
| 5.4 | VISUELLE ANALOGSKALEN FÜR SCHMERZ, FUNKTION UND ZUFRIEDENHEIT IM ALLTAG | 45 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.5 | VISUELLE ANALOGSKALEN FÜR SCHMERZ, FUNKTION UND ZUFRIEDENHEIT WÄHREND DER SIMULATIONSFAHRT | 46 |
| 5.6 | DRIVER ACTIVITY LOAD INDEX (DALI) | 48 |
| 5.7 | ABSCHLUSSFRAGEBOGEN | 49 |
| 5.8 | VISUELLE ANALOGSKALA ZUR SUBJEKTIVEN EINSCHÄTZUNG DER FAHRTÜCHTIGKEIT (EUROQOL-VAS) | 49 |
| 5.9 | ANALGETIKAEINNAHME | 50 |
| 5.10 | RÖNTGEN | 51 |
| 6 | DISKUSSION..... | 53 |
| 6.1 | MODELL DER STUDIE..... | 53 |
| 6.1.1 | <i>Studiendesign</i> | 53 |
| 6.1.2 | <i>Studienprotokoll</i> | 60 |
| 6.1.3 | <i>Probanden</i> | 61 |
| 6.2 | BREMSREAKTIONSZEITEN | 62 |
| 6.2.1 | <i>Verlangsamungsereignis</i> | 62 |
| 6.2.2 | <i>Vollbremsungsereignis</i> | 64 |
| 6.3 | KORRELATION DER FAHRTÜCHTIGKEIT VON ARTHROSEPATIENTEN MIT DEM KLINISCHEN BEFUND | 76 |
| 6.4 | SUBJEKTIVE EINSCHÄTZUNG DER FAHRTÜCHTIGKEIT | 78 |
| 7 | SCHLUSSFOLGERUNG..... | 80 |
| 8 | DANKSAGUNG | 82 |
| 9 | ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS..... | 83 |
| 10 | LITERATURVERZEICHNIS | 85 |
| 11 | ANHANG | 91 |

1 Zusammenfassung

Eine der größten Herausforderungen der heutigen Zeit stellt der demographische Wandel dar. Durch die immer besser werdende medizinische Versorgung der Bevölkerung und der damit verbundenen steigenden Lebenserwartung wird laut statistischem Bundesamt im Jahr 2060 jede dritte Person in Deutschland 65 Jahre oder älter sein. Ab dem 60. Lebensjahr leidet etwa die Hälfte der Frauen und ca. ein Drittel der Männer an einer Arthrose, die mit Schmerzen, Bewegungseinschränkungen und folglich mit einer verminderten Mobilität einhergehen kann. Der Verlust der Mobilität bedeutet für eine Vielzahl älterer Menschen den Verlust ihrer Unabhängigkeit und deutliche Einschränkung ihrer Lebensqualität. Um auch im höheren Alter den Alltag aktiv gestalten zu können, unterziehen sich immer mehr Menschen einem künstlichen Gelenkersatz. Im Jahr 2014 wurden bei rund 149.000 Patienten in Deutschland Knieendoprothesen implantiert.

Ziel der hier vorliegenden Arbeit war es zu untersuchen, in welchem Ausmaß die rechtsseitige Gonarthrose die Fahrtüchtigkeit beeinträchtigt und zu welchem Zeitpunkt nach einem endoprothetischen Gelenkersatz eine sichere Wiederteilnahme am Straßenverkehr möglich ist.

Im Rahmen einer prospektiven klinischen Studie untersuchten wir die Fahrtüchtigkeit von insgesamt 67 Probanden. 37 Probanden litten an einer klinisch und radiologisch nachgewiesenen rechtsseitigen Gonarthrose (gon; n=37). Gesunde Gleichaltrige dienten als Kontrolle (con; n=30). Das Durchschnittsalter der Arthrosepatienten lag bei $65,91 \pm 8,64$ Jahren, das der gesunden Probanden bei $58,9 \pm 11,02$ Jahren.

Der Studienaufbau bestand aus einem modifizierten original PKW der Marke Smart (Daimler-AG) und einer Fahrsimulationssoftware (OpenDS), welche eine dreidimensionale Simulationsfahrt auf einer Landstraße ermöglichte. Im Rahmen der einzelnen Fahraufgaben wurden unterschiedliche Reaktionszeiten auf einzelne Bremssituationen (Verlangsamungs- und Vollbremsungsereignis) analysiert.

Als Untersuchungsparameter dienten die Reaktionszeit, die der Proband benötigte, um den Fuß vom Gaspedal abzuheben (GasOff), die Zeit, um den Fuß auf das Bremspedal aufzusetzen (Brake0), sowie die Zeit, in der das Bremspedal vom Probanden zu 80% durchgedrückt wurde (Brake80). Die Simulationsfahrten fanden einen Tag vor der Operation (t0; n=37), 6 Wochen (t1; n=16) und 3 Monate postoperativ (t2; n=7) statt.

Bei allen Probanden wurden zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten ein klinischer Untersuchungsbefund sowie der Hospital for Special Surgery Score erhoben. Die Einteilung der präoperativ angefertigten Röntgenbilder erfolgte mittels Kellgren&Lawrence. Die subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit wurde mittels EuroQol-VAS erfasst. Die Beurteilung von Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Kniegelenk im

Alltag (VAS-U) und während der Simulationsfahrt (VAS-T) wurde bei jedem Probanden mit Hilfe einer visuellen Analogskala erhoben. Außerdem wurde die subjektive Beanspruchung der Probanden während der Simulationsfahrt mittels Driver Activity Load Index untersucht. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der Analysesoftware SPSS Statistics von IBM. Probanden mit einer rechtsseitigen Gonarthrose brauchten signifikant länger als die gesunde Kontrolle ($p < 0,05$), um das Bremspedal im Rahmen eines Vollbremsungsereignis zu betätigen. Dahingegen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bei der Analyse der Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Verlangsamungsereignis beobachtet werden. Ein Zusammenhang zwischen dem radiologischen Arthrostadium nach Kellgren&Lawrence und der Bremsreaktionszeiten konnte nicht festgestellt werden. Interessanterweise schätzten die Gonarthrosepatienten ihre Fahrtüchtigkeit zu keinem Zeitpunkt schlechter als die gesunde Kontrollgruppe ein. Es zeigte sich eine marginal signifikante Korrelation zwischen einem ermittelten hohen Hospital for Special Surgery Score der Probanden und einer kürzeren Break80 Bremsreaktionszeit.

Bei der Untersuchung der Bremsreaktionszeiten 6 Wochen nach Knieprothesenimplantation (t1) ergab sich kein signifikanter Unterschied mehr in allen drei Messvariablen zwischen der gesunden Kontrollgruppe und den Messwerten der operativ versorgten Patienten. Korrelierend zu diesen Ergebnissen gaben die Probanden zu diesem Zeitpunkt (t1) eine signifikante Besserung ihrer Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit an. Bei der Untersuchung der Bremsreaktionszeiten 3 Monate postoperativ (t2) konnten sehr individuelle Verläufe beobachtet werden. Während einige Probanden ihre Reaktionszeiten noch weiter deutlich verkürzen konnten, konnten andere ihre präoperativen Ausgangswerte nicht wieder erreichen.

In unserer Studie konnte gezeigt werden, dass Schmerzen und Funktionseinschränkungen auf dem Boden einer Gonarthrose mit einer signifikanten Erhöhung der Bremsreaktionszeiten einhergeht. Der radiologische Schweregrad der Arthrose scheint dabei keinen Einfluss auf die Bremsreaktionszeiten zu haben. Vielmehr lässt sich auf einen Zusammenhang zwischen der Fahrtüchtigkeit und dem Hospital for Special Surgery Score schließen.

Eine Knieprothesenimplantation führt auch während des Autofahrens zu einer signifikanten Schmerzreduktion, Funktionsverbesserung und erhöhten Zufriedenheit. 6 Wochen postoperativ ließen sich Bremsreaktionszeiten auf dem Niveau gesunder Probanden beobachten. Bei teils sehr individuellen Langzeitverläufen sollte eine allgemeine Empfehlung zur aktiven Wiederteilnahme am Straßenverkehr zu diesem Zeitpunkt jedoch nur nach eingehender Beratung und klinischer Untersuchung ausgesprochen werden. Eine Hilfestellung zur Einschätzung der Fahrtüchtigkeit kann dabei der Hospital for Special Surgery Score leisten.

1.1 Summary

One of the greatest challenges of our time is the demographic change. According to the Federal Statistical Office, every third person in Germany will be 65 years of age or older in 2060 as a result of the ever improving medical care for the population and the associated increase in life expectancy. From the age of 60 about half of women and about one third of men suffer from osteoarthritis, which can be accompanied by pain, movement restriction and consequently reduced mobility. For many older people, the loss of mobility means the loss of their independence and a significant reduction in their quality of life. In order to be able to actively shape everyday life in old age, more and more people are undergoing artificial joint replacement. In 2014, knee endoprostheses were implanted in around 149,000 patients in Germany.

The aim of this study was to investigate the extent to which right-sided gonarthrosis impairs the ability to drive and the time at which a safe return to road traffic is possible after an endoprosthetic joint replacement.

As part of a prospective clinical study, we investigated the driving ability of a total of 67 volunteers. 37 subjects suffered from a clinically and radiologically proven right-sided gonarthrosis (gon; n=37). Healthy peers served as controls (con; n=30). The average age of osteoarthritis patients was 65.91 ± 8.64 years, that of healthy volunteers 58.9 ± 11.02 years.

The study consisted of a modified original Smart car (Daimler AG) and a driving simulation software (OpenDS), which enabled a three-dimensional simulation drive on a country road. Within the scope of the individual driving tasks, different reaction times to individual braking situations (deceleration and emergency braking events) were analysed.

The test parameters were the reaction time required by the test person to lift the foot off the accelerator pedal (GasOff), the time to put the foot on the brake pedal (Brake0) and the time in which the test person pressed the brake pedal 80% (Brake80). The simulation runs took place one day before the surgery (t0; n=37), 6 weeks (t1; n=16) and 3 months postoperatively (t2; n=7).

The clinical findings and the Hospital for Special Surgery Score were recorded in all volunteers at the respective examination times. The preoperative radiographs were classified using Kellgren&Lawrence. The subjective assessment of driving ability was recorded using EuroQol-VAS. The assessment of pain, function and satisfaction with the right knee joint in everyday life (VAS-U) and during the simulation drive (VAS-T) was carried out on each proband using a visual analogue scale. In addition, the subjective stress of the test persons during the simulation drive was examined using the Driver Activity Load Index. The statistical evaluation was carried out with the help of the analysis software SPSS Statistics from IBM.

Patients with right-sided gonarthrosis needed significantly longer than the healthy controls ($p < 0.05$) to apply the brake pedal during an emergency braking event. On the other hand, no significant difference could be observed between the two groups in the analysis of brake response times for a deceleration event. A correlation between the radiological arthrosis stage according to Kellgren&Lawrence and the braking reaction times could not be established. Interestingly, the gonarthrosis patients did not assess their ability to drive worse than the healthy control group at any time. There was a marginally significant correlation between a high Hospital for Special Surgery Score of the probands and a shorter Break80 braking reaction time.

When investigating the brake reaction times 6 weeks after knee prosthesis implantation (t1), there was no significant difference in all three measurement variables between the healthy control group and the measured values of the surgically treated patients. Corresponding to these results, the patients reported a significant improvement in pain, function and satisfaction at this time (t1). When investigating the braking reaction times 3 months postoperatively (t2), very individual courses could be observed. While some patients were able to shorten their reaction times even further, others could not reach their preoperative initial values again.

In our study it could be shown that pain and functional restrictions on the floor of gonarthrosis are accompanied by a significant increase in braking reaction times. The radiological severity of osteoarthritis does not seem to have any influence on the braking reaction times. Rather, it can be concluded that there is a connection between driving ability and the Hospital for Special Surgery Score.

A knee prosthesis implantation also leads to significant pain reduction, functional improvement and increased satisfaction during driving. Brake reaction times at the level of healthy volunteers were observed 6 weeks postoperatively. In the case of partially very individual long-term courses, however, a general recommendation for active re-participation in road traffic at this time should only be made after detailed consultation and clinical examination. The Hospital for Special Surgery Score can provide assistance in assessing driving ability.

2 Einleitung

Eine der größten Herausforderungen der heutigen Zeit stellt der demographische Wandel dar. Durch die immer besser werdende medizinische Versorgung der Bevölkerung und der damit verbundenen steigenden Lebenserwartung wird laut statistischem Bundesamt 2060 jede dritte Person in Deutschland 65 Jahre oder älter sein (Statistisches-Bundesamt, Bundeszentrale für politische Bildung, 2015).

Auf Grund dieser Entwicklung steht die Medizin neuen Herausforderungen und Fragestellungen gegenüber.

Mit Beginn des 60. Lebensjahres leiden laut Deutscher Arthrose-Hilfe e.V gut die Hälfte der Frauen und ca. ein Drittel der Männer an einer Arthrose (Deutsche Arthrose -Hilfe e.V, 2017).

Im Jahr 2014 wurde eine Knieprothese bei rund 149.000 Patienten in Deutschland implantiert. Der Kniegelenkersatz macht mittlerweile 0,9% aller vollstationär durchgeführten Operationen aus. Dabei gehen 96% der Ersteingriffe auf altersbedingten Gelenkverschleiß am Knie zurück (IGES Institut, 2016).

Bedingt durch den demographischen Wandel ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren die Zahl der endoprothetischen Kniegelenksoperationen weiter steigt. Basierend auf der zunehmenden Urbanisierung nimmt die Infrastruktur zugunsten des städtischen Ausbaus in den ländlichen Regionen stetig ab. Ältere Menschen, die weiterhin in suburbanen und ländlichen Regionen leben sind zum Erhalt ihrer Gesundheit, ihres Lebensunterhalts und ihrer Lebensqualität auf ihre Mobilität angewiesen. Das eigenständige Führen eines PKW's ist hierbei für eine Vielzahl von Menschen ein zentraler Aspekt für die Unabhängigkeit. Prof. Heiko Reichel, Präsident der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU) bestätigt: „Immer mehr Menschen werden nicht nur immer länger, sondern auch immer aktiver mit einem Gelenkersatz leben“ (IGES Institut, 2016).

In unserer heutigen Zeit ist es unabdingbar, die Fahrtüchtigkeit bei Arthrosepatienten kritisch zu hinterfragen und zu prüfen, welchen Einfluss der operative Gelenkersatz auf das Fahrverhalten zu haben scheint. Ziel der hier vorgestellten Studie war, fundierte Daten zur Fahrtüchtigkeit mit Gonarthrose und nach Knieendoprothetik zu gewinnen, um Patienten in Zukunft adäquat hinsichtlich einer sicheren Teilnahme am Straßenverkehr beraten zu können.

2.1 Arthrose des Kniegelenks

2.1.1 Ätiologie

Nach Definition des Statistischen Bundesamtes ist die Arthrose „eine Erkrankung des Muskel-Skelett-Systems. Sie ist durch die degenerative Zerstörung des Gelenkknorpels und der Schädigung angrenzender Strukturen wie Knochen, Muskeln, Kapseln und Bänder charakterisiert“ (Rabenberg, 2013, S. 7). Nahezu immer liegt ein Missverhältnis zwischen Belastbarkeit und Belastung des entsprechenden Gelenks vor. In der Literatur werden primäre von sekundären Formen der Kniegelenksarthrose unterschieden (Altman et al., 1986). Bei der primären bzw. idiopathischen Arthrose liegen degenerative Veränderungen ohne erkennbare Ursache vor (Söder & Aigner, 2011). Bei der sekundären Arthrose nehmen diverse Risikofaktoren eine zentrale Rolle bei der Entstehung ein.

So begünstigen z.B. konstitutionelle, mechanische und metabolische Risikofaktoren die Entstehung einer sekundären Arthrose (Niethard, Pfeil & Biberthaler 2014).

Das Alter und Geschlecht spielen bei der Entstehung der Arthrose eine wichtige Rolle. Bis zum 50. Lebensjahr sind Männer häufiger als Frauen betroffen. Nach der Menopause weisen Frauen häufiger degenerative Gelenkerkrankungen auf, was von diversen Autoren auf einen Östrogenmangel zurück geführt wird (Felson & Zhang, 1998).

Zu den mechanischen Risikofaktoren zählen unter anderem akute Gelenkverletzungen, chronische Gelenkschädigungen, angeborene oder erworbene Gelenkerkrankungen wie die Hüft dysplasie und Achsenfehlstellungen der unteren Extremität (Söder & Aigner, 2011). In der Ulmer Osteoarthrose-Studie konnte der Einfluss von traumatischen Kniegelenksverletzungen auf die Entstehung einer sekundären Arthrose nachgewiesen werden (Günther, Puhl, Brenner & Stürmer, 2002). In dieser Studie wurde ein Zusammenhang zwischen einem traumatischen Ereignis und der Entstehung einer Kniegelenksarthrose bei insgesamt 38,6 % der 398 untersuchten Patienten beobachtet. Die Studie konnte zudem eine eindeutige Korrelation zwischen Adipositas und der Entstehung einer bilateralen Gonarthrose zeigen. Ebenso konnte in der Vergangenheit ein Zusammenhang zwischen erhöhten Cholesterinwerten und Harnsäurewerten im Serum mit dem Auftreten einer generalisierten Osteoarthrose nachgewiesen werden (Günther, Puhl, Brenner & Stürmer, 2002).

Frühzeitige Achsenkorrekturen, medikamentöse Therapien von diversen metabolischen Erkrankungen aber auch Lebensstiländerungen werden als präventive Maßnahmen angesehen und können im besten Fall ein Fortschreiten der degenerativen Veränderungen verlangsamen (Niethard, Pfeil & Biberthaler, 2014, S. 181).

2.1.2 Epidemiologie

Die Arthrose gilt heute als die häufigste Gelenkerkrankung des Erwachsenen (Felson, 1988). Betroffen sind vor allem Knie-, Hüft- und Schultergelenke sowie die Finger- und Wirbelgelenke (Rabenberg, 2013, S. 14). Lawrence et al. konnten radiologische Zeichen einer Kniegelenksarthrose bei 37% von den über 60 Jährigen beobachten (Lawrence et al., 2008). Klinisch relevante Kniegelenksarthrosen ließen sich allerdings nach einer epidemiologischen Studie von Adrianakos et al. nur bei 6% der Betroffenen nachweisen (Andrianakos et al., 2006).

Für Deutschland liegen derzeit noch keine repräsentativen Studien zur radiologisch gesicherten Inzidenz der Arthrose vor. In einer randomisierten Studie von van Saase et al. wurden 6585 Einwohner in einem niederländischen Dorf auf Anzeichen einer Arthrose untersucht. Dabei konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen zunehmendem Lebensalter und der Inzidenz von Gelenkdegenerationen festgestellt werden. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass es einen geschlechtsspezifischen Unterschied bezüglich der betroffenen Gelenke gibt. So waren Frauen vor allem von einer Gonarthrose und Männer häufiger von einer Coxarthrose betroffen (Van Saase, Van Romunde & Cats, 1989).

2.1.3 Symptome

Im Anfangsstadium der Arthrose berichten Patienten zumeist über belastungsabhängige Schmerzen. Die Beschwerden gehen vom Gelenk selbst oder den umgebenden Weichteilen aus. Es kann zu reflektorischen Muskelverspannungen und Schwellungen auf Grund einer schmerzhaften Überbelastung des betroffenen Gelenkes kommen (Niethard, Pfeil & Biberthaler, 2014).

Des Weiteren können entzündliche (Synovialitis, Gelenkerguss, Bursitis) sowie mechanische Prozesse (Blockierung, Periostdehnung, subchondrale Mikrofrakturierungen) für die Schmerzentstehung verantwortlich sein (Wirth, Mutschler, Kohn & Pohlemann, 2013, S. 355).

Im fortgeschrittenen Stadium schmerzen die betroffenen Gelenke und die umgebenden Weichteilstrukturen bereits bei Bewegung ohne Belastung. Durch Muskelverspannungen kommt es während aktiven Bewegungen zu Schmerzen. Bei Fortführung der Bewegung berichten Patienten von einer Schmerzbesserung.

Typisch für Knie- und Hüftgelenksarthrosen ist der sogenannte „Anlaufschmerz“, der sich nach wenigen Metern bessert (Niethard, Pfeil & Biberthaler, 2014, S. 182).

Auch Morgensteifigkeit von weniger als 30 Minuten Dauer und Funktionseinschränkungen bei alltäglichen Bedürfnissen (Waschen, Ankleiden) können im Verlauf auftreten (Wirth, Mutschler, Kohn & Pohlemann 2013, S. 355).

Eine Korrelation mit den röntgenologischen Veränderungen und dem Ausmaß der Schmerzen konnte nicht nachgewiesen werden (Bedson & Croft, 2008).

2.1.4 Stadien

Zur radiologischen Stadieneinteilung etablierte sich 1957 der Kellgren-Lawrence Score (Kellgren & Lawrence, 1957).

Stadium 0 nach Kellgren und Lawrence beschreibt ein gesundes Kniegelenk ohne den Nachweis arthrotischer Veränderungen. Im Stadium 1 zeigen sich radiologisch fragliche Osteophyten und eventuell eine Gelenkspaltverkleinerung. Im Stadium 2 nach Kellgren und Lawrence ist die Osteophytenbildung radiologisch erkennbar und der Gelenkspalt möglicherweise verkleinert. Ab Stadium 3 zeigt sich eine deutliche Gelenkspaltverschmälerung, deutliche Osteophytenbildung, eine unregelmäßige Gelenkfläche, und eine geringe bis mäßige subchondrale Sklerose. Stadium 4 ist gleichzusetzen mit einer schweren Arthrose. Hier präsentieren sich radiologisch eine deutliche Gelenkspaltverschmälerung bis zu einem aufgehobenen Gelenkspalt, subchondrale Geröllzysten, große Osteophyten bis hin zu einer Deformierung der gelenkbildenden Knochenanteile (Weber & Streich, 2017, S. 42).

2.1.5 Diagnose

Alter, Gewicht und Vorerkrankungen des Patienten können erste Hinweise auf das etwaige Vorliegen einer degenerativen Gelenkerkrankung sein. Das Erfragen nach vorangegangenen Traumata, Gelenkoperationen oder möglichen Stoffwechselstörungen ist essentieller Bestandteil der Anamneseerhebung. Patienten klagen häufig über Anlauf- und Belastungsschmerzen. Ruhe- und Nachtschmerzen können Hinweise auf das Vorliegen einer aktivierten Arthrose sein. Mit Hilfe des WOMAC Score (Western Ontario and McMaster Universities Arthritis Index) kann die Einschränkung der Lebensqualität im Alltag durch die Arthrose erfasst werden.

Die klinische Untersuchung erfolgt stets im Seitenvergleich. Bei der Analyse des Gangbildes findet sich häufig ein Schmerz- und ggf. funktionelles Verkürzungshinken. Inspektorisch

können eine verstrichene Gelenkkontur, valgisch oder varische Achsenabweichungen und Muskelatrophien Hinweise auf das Vorliegen einer Gonarthrose sein. Palpatorisch finden sich je nach Arthrosegrad neben Gelenkergüssen multilokuläre Druck- und Dehnungsschmerzen. Eine lokale Überwärmung kann Hinweis auf eine abakterielle Synovialitis im Rahmen einer aktivierten Arthrose geben.

Bei der Funktionsprüfung wird der Bewegungsumfang des Gelenkes mit Hilfe der Neutral-Null Methode bestimmt. Es werden sowohl der aktive als auch der passive Bewegungsumfang gemessen und dokumentiert. Im Rahmen der Funktionsprüfung werden auch die Bandstabilität sowie die Menisken untersucht. Im fortgeschrittenen Stadium lassen sich Krepitationen unterschiedlichen Ausmaßes palpieren.

Neben der klinischen Untersuchung hat sich die nativradiologische Bildgebung im a.p. und seitlichen Strahlengang als Goldstandard etabliert (Kuster & Grifka, 2011). Zur Beurteilung des patellofemorale Gleitlagers dient eine Tangentialaufnahme der Patella in 30° oder 45° Flexion nach Merchant. Die Einteilung des Schweregrades der Gonarthrose erfolgt nach dem Kellgren-Lawrence Score (Kellgren & Lawrence, 1957) (Weber & Streich, 2017). Zur Beurteilung der Beinachse wird eine Ganzbeinaufnahme a.-p. im Einbeinstand durchgeführt. Röntgenologisch können typischerweise Gelenkspaltverschmälerungen, eine subchondrale Sklerosierung, osteophytäre Randaufbauten und Gelellzysten beobachtet werden (Imhof, Nöbauer-Huhmann & Trattnig, 2009). Eine Gelenkspaltverschmälerung von mehr als 0,6 mm innerhalb eines Jahres wird von verschiedenen Autoren als Hinweis für einen deutlichen Progress der degenerativen Veränderungen angesehen (Dougados et al., 1996).

2.1.6 Therapie

Im Jahr 2005 wurden Therapieoptionen für die Behandlung der Kniegelenksarthrose von der European League Against Rheumatism (EULAR) publiziert.

Alter, Allgemeinzustand, etwaige Komorbiditäten und insbesondere der Patientenwunsch tragen hierbei maßgeblich zum Therapieentscheid bei. So beinhaltet ein optimales Therapiekonzept eine Kombination von pharmakologischen und nicht pharmakologischen Ansätzen (Pendleton et al., 2003).

2.1.6.1 Konservative Therapieansätze

Bei der Behandlung degenerativer Gelenkerkrankungen kommen i.d.R. Analgetika, Antiphlogistika und physikalische Therapiemaßnahmen in Kombination zum Einsatz.

Unter Beachtung der EULAR-Richtlinien für die Behandlung von Kniegelenksarthrosen beinhalten die nicht pharmakologischen Therapieansätze edukative Maßnahmen hinsichtlich Motivation zur körperlicher Aktivität und Gewichtsreduktion (Pendleton et al., 2003). Einem adäquaten Lebenswandel wird ein besonders hoher Stellenwert zugeschrieben (Jerosch, 2015). So konnten Felson et al. nachweisen, dass die Reduktion des Body-Mass-Index (BMI) um 2 Punkte bei Frauen das Risiko an einer Arthrose zu erkranken um bis zu 50% reduzieren kann (Felson & Zhang, 1992). Zudem wird einer regelmäßigen Beübung und Kräftigung der periartikulären Muskulatur zum Erhalt der Kniegelenksbeweglichkeit großer Nutzen zugesprochen (Pendleton et al., 2003).

2.1.6.1.1 Physikalische Therapie

Lokal physikalische Maßnahmen werden zur Schmerzreduktion und antiphlogistischen Therapie eingesetzt. Als wirksam erweisen sich die Thermo-, Kryo-, Balneo-, Elektro- und Ultraschalltherapie je nach Schwere- und Aktivierungsgrad der Arthrose (Jerosch, 2015, S. 32-33).

2.1.6.1.2 Physiotherapie

Eine bedarfsgerechte schmerzadaptierte Bewegungstherapie zum Erhalt der Beweglichkeit ist Bestandteil nahezu jeder Arthrosebehandlung. Ziel ist es, die Funktionsfähigkeit des Kniegelenkes zu erhalten oder wiederherzustellen und die Atrophie artikulärer und periartikulärer Weichteilstrukturen so gering wie möglich zu halten. Gangschule und gezielte gelenkentlastende Übungsmaßnahmen können stadienabhängig eine Beschwerdelinderung bewirken. Dehn- und Lockerungsübungen können im Rahmen eines erlernten Eigenprogramms regelhaft im häuslichen Umfeld durchgeführt werden (Jerosch, 2015, S. 34).

2.1.6.1.3 Medikamentöse Therapie

Analgetika, Antiphlogistika und physikalische Therapiemaßnahmen werden bei der Behandlung degenerativer Gelenkerkrankungen nicht selten mit großem Erfolg kombiniert. Verschiedene Autoren empfehlen als Mittel der ersten Wahl bei leichten- bis mittleren

Schmerzen eine bedarfsgerechte Analgesie mittels Paracetamol (Pendleton et al., 2003). Dahingegen wird der Einsatz von Paracetamol in der aktuellen Literatur von diversen Autoren kontrovers diskutiert (da Costa et al., 2016). In einer Metaanalyse aus dem Jahr 2016 konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der analgetischen Wirkung im Vergleich zu einem Placebo nachgewiesen werden (da Costa et al., 2016).

Dahingegen kann den nichtsteroidalen Antirheumatika neben einem analgetischen Effekt auch ein antiphlogistischer Effekt zugesprochen werden (Beubler, 2017). Die Anwendung kann optional und beschwerdeabhängig topisch oder oral erfolgen. In der Vergangenheit konnte eine höhere analgetische Wirksamkeit für Ibuprofen als für Paracetamol nachgewiesen werden bei allerdings vermehrten gastrointestinalen Nebenwirkungen (Pendleton et al., 2003). Woitzek et al. publizierten 2012, dass eine Kombination von Paracetamol und Ibuprofen einen höheren analgetischen Effekt zu haben scheint als die jeweilige Monotherapie (Woitzek, 2012).

Der Nutzen der intraartikulären Hyaluronsäureapplikation in der Gonarthrosetherapie wird in der Literatur nach wie vor kontrovers diskutiert.

So postulieren zahlreiche Autoren den Einsatz der lokalen Hyaloroninjektionstherapie zur Analgesie und Funktionsverbesserung (Bellamy et al., 2006). Arthroskopisch konnte eine Verlangsamung des Arthroseprogresses über 1 Jahr nach intraartikulärer Hyalurongabe beobachtet werden (Pendleton et al., 2003). In einer aktuellen Studie von Ong et al. wurde postuliert, dass Patienten, die regelmäßig intraartikuläre Hyaluroninjektionen erhalten, sich im Durchschnitt 8,7 Monate später einem endoprothetischen Gelenkersatz unterzogen als die verglichene Placebogruppe (Ong et al., 2016).

Dahingegen konnte in diversen Studien keine eindeutige Überlegenheit der Hyaluronsäureapplikationen beobachtet werden (Leopold et al., 2003) (Lo, LaValley, McAlindon & Felson, 2003).

Abhängig von Arthrostadium, Verlauf und Beschwerdebild konnten im klinischen Alltag mit großem Erfolg intraartikuläre Injektionen von langwirksamen Steroiden eingesetzt werden (Pendleton et al., 2003). Dieppe et al. konnten in einer Studie zeigen, dass die intraartikuläre Applikation eines Steroids in einer signifikant wirkungsvolleren Schmerzlinderung als nach Placeboverabreichung resultierte (Dieppe, Sathapatayavongs & Jones 1980).

2.1.6.2 Operative Therapieansätze

Nach frustraner konservativer Therapie und entsprechend hohem Leidensdruck der Patienten kommen verschiedene operative Verfahren zum Einsatz. Zu den minimalinvasiven Eingriffen gehören die arthroskopische chondroinduktive Pridie-Bohrung,

Abrasionsarthroplastik und Mikrofrakturierung. Daneben kommen je nach Arthrosegrad und Beschwerdebild Umstellungsosteotomien, Arthrodesen und die Endoprothetik zum Einsatz. Die funktionell guten Resultate nach Alloarthroplastiken haben heutzutage gelenkversteifende Operationen nahezu abgelöst. Dem endoprothetischen Gelenkersatz wird bei regelrechtem Prothesensitz und zeitgerechtem Rehabilitationsverlauf eine hohe Patientenzufriedenheit und deutliche Steigerung der Lebensqualität zugesprochen (Wirth, Mutschler, Kohn & Pohlemann 2013).

Die Wahl des Endoprothetikverfahrens ist abhängig von Ausmaß und Lokalisation der Schädigung. Sind die degenerativen Veränderungen auf das mediale oder laterale Kompartiment begrenzt und die frontale Achsenabweichung weniger als 10° beträgt, ist bei freier Knieextension die Implantation einer monokondylären Schlittenprothese zu diskutieren (Kuster & Grifka, 2011). Kontraindikationen stellen entzündliche Gelenkerkrankungen, Adipositas (BMI >30), sowie eine fehlende anteriore Führung durch Verletzungen des vorderen Kreuzbandes dar (Kohn & Pohlemann, 2014, S. 119).

Beim klinischen und nativradiologischen Nachweis einer trikompartimentellen Gonarthrose besteht bei entsprechendem Leidensdruck die Indikation zum bikondylären endoprothetischen Gelenkersatz. Es kommen ungekoppelte, teilgekoppelte sowie achsengeführte Knieendoprothesen zum Einsatz (Kohn, 2015).

2.2 Mobilität im Alter

2.2.1 Demographischer Wandel

Der Begriff Demographischer Wandel bezeichnet eine Veränderung in der Bevölkerung eines Landes vor allem bezogen auf die Altersstruktur (Pollert A., Kirchner, Polzin & Pollert M., 2016).

Die Geburtenrate zeigt sich kontinuierlich rückläufig. So gebären seit den 1970er Jahren Frauen in Deutschland im Durchschnitt 1,4 Kinder, wohingegen es 1871 noch 5 Kinder pro Frau waren. Dieser Geburtenrückgang fand im Rahmen der Industrialisierung fast in jedem Land in unterschiedlicher Ausprägung statt. Somit fällt jeder Geburtsjahrgang kleiner als der seiner Eltern aus (Sütterlin, 2008).

Die 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des statistischen Bundesamtes bestätigt, dass Deutschlands Bevölkerung langfristig abnehmen wird, die Einwohner im Durchschnitt älter werden und voraussichtlich noch weniger Kinder als heute geboren werden (Pötzsch & Rößger, 2015, S. 13).

Sinkt die Geburtenrate unter das Ersatzniveau von 2,1, zeigt eine Gesellschaft kein Wachstum mehr. Seit dem Jahre 1972 ist die Sterberate in Deutschland höher als die Geburtenrate (Sütterlin, 2008).

Laut statistischem Bundesamt wird die Bevölkerungszahl von 80,8 Millionen Menschen im Jahr 2013 auf 67,6 Millionen (kontinuierliche Entwicklung bei schwächerer Zuwanderung) und 73,1 Millionen (kontinuierliche Entwicklung bei stärkerer Zuwanderung) bis zum Jahr 2060 gesunken sein (Pötzsch & Rößger, 2015, S. 15).

Die heutige deutsche Bevölkerung besteht zu 18% aus unter 20-jährigen, 61% aus 20-65-jährigen und zu 21% aus über 65-jährigen. Bei einer kontinuierlichen demographischen Entwicklung bis 2060 wird der Anteil der unter 20-jährigen auf 16% und der Anteil der 20-65-jährigen auf 51% gesunken sein. Dagegen wird im Jahre 2060 die Zahl der über 65-jährigen voraussichtlich auf 33% angestiegen sein (Pötzsch & Rößger, 2015, S. 15).

Das Medianalter, dass eine Bevölkerung in eine jüngere- und eine ältere Hälfte teilt betrug 2013 45 Jahre. Bis 2060 wird es bei kontinuierlicher Geburten- und Sterblichkeitsentwicklung und je nach Zuwanderung auf rund 50 beziehungsweise 51 Jahre steigen (Pötzsch & Rößger, 2015, S. 17-19). Abbildung 1 zeigt einen Überblick über die Altersstruktur und den demographischen Wandel in Deutschland. (Abb. 1)

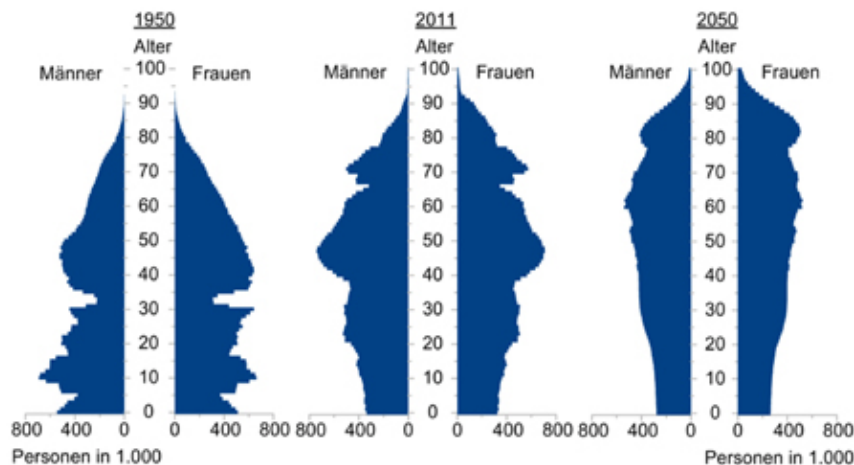


Abb. 1: Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland im Vergleich zwischen 1950, 2011 und 2050

(Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend, 2012)

2.2.2 Warum Mobilität im Alter so wichtig ist

Durch die stetige Verbesserung der medizinischen Versorgung, höheren hygienischen Umfeldbedingungen, der Primär- und Sekundärprävention von Erkrankungen hatte ein 60 jähriger Mann 2010 eine Lebenserwartung von durchschnittlich 81 Jahren und eine Frau von 85 Jahren. Die fernere Lebenserwartung wird sich laut Statistischem Bundesamt auch in den nächsten Jahren stetig weiter erhöhen (Statistisches Bundesamt, 2012). So wird voraussichtlich im Jahr 2060 jede dritte Person in Deutschland 65 Jahre oder älter sein (Statistisches Bundesamt, 2015).

Ein Drittel der über 65 Jährigen lebte in Deutschland 2014 alleine im eigenen Haushalt. 62% der älteren Bevölkerung lebten in einer Paargemeinschaft, nur 4% wohnten bei Verwandten oder in einem familienfremden Mehrpersonenhaushalt (Statistisches Bundesamt, Die Generation 65+ in Deutschland, 2015).

2007 wurde durch den Bundestag beschlossen, das Renteneintrittsalter von 65 Jahren auf 67 Jahre anzuheben, was in einer längeren Erwerbstätigkeit im Alter resultiert. So waren 2005 rund 6% der 65-69 Jährigen erwerbstätig, 2014 bereits 14% (Statistisches Bundesamt, Die Generation 65+ in Deutschland, 2015).

Nach Angaben der deutscher Arthrose-Hilfe e.V. leiden mit Eintritt des 60. Lebensjahrs gut die Hälfte der Frauen und ca. ein Drittel der Männer an einer Arthrose und unter damit einhergehenden Schmerzen, Bewegungseinschränkungen und verminderter Mobilität (Deutsche Arthrose-Hilfe e.V., 2017).

Zudem lässt sich in den suburbanen und ländlichen Regionen ein deutlicher Zuwachs älterer Menschen beobachten. So lag im Jahr 1990 der Anteil der über 64 Jährigen in ländlichen Regionen bei 15,8% in den alten Bundesländern und bei 12,7% in den neuen Bundesländern. 2009 lag der Anteil der über 64 Jährigen in den alten Bundesländern bei 20,7 %, in den neuen Bundesländern schon bei 23,5% (Maretzke & Schlömer).

Vor allem die ländlichen Regionen leiden schon heute unter dem wirtschaftlich bedingten Rückzug öffentlicher Verkehrsträger und anderer infrastruktureller Versorgungseinheiten. Dies zieht einen erhöhten Mobilitätsbedarf von Senioren nach sich (Kubitzki & Janitzek, 2009).

Aus psychologischer Sicht geht Mobilität mit Selbstwert, Selbstbewusstsein, Wahrnehmung von Lebensaufgaben, Freiheit und Selbständigkeit einher. Sie ermöglicht die Integration von Senioren in das gesellschaftliche Leben. Nicht zuletzt ermöglicht sie auch den Zugang zu Dienstleistungen wie Arztbesuchen und täglicher Verpflegung. Eine eingeschränkte Mobilität resultiert in einer Reduktion der Lebensqualität nach heutigem Kenntnisstand (Tschannen & Gertsch, 2007).

Nach Angaben der Allianz Deutschland AG waren im Jahr 2002 35% der Autofahrer 60 Jahre oder älter. 65% der älteren Bevölkerung nutzen als primäres Fortbewegungsmittel das eigene Auto, nur 2% entscheiden sich zur Fortbewegung in öffentlichen Verkehrsmittel (Kubitzki & Janitzek, 2009). Abbildung 2 zeigt die Verkehrsmittelwahl älterer Autofahrer in Deutschland. (Abb. 2)

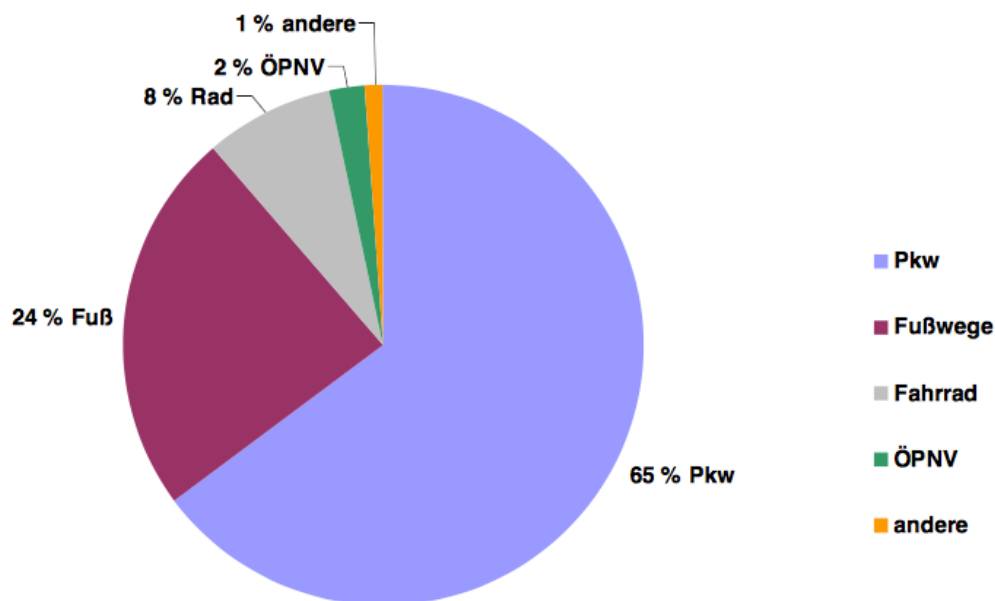


Abb. 2: Verkehrsmittelwahl älterer Autofahrer in Deutschland
(ÖPNV= öffentlicher Personennahverkehr)

(Kubitzki & Janitzek, 2009, S. 42)

Zusammenfassend ist Mobilität im höheren Lebensalter in unserer heutigen Gesellschaft zum Erhalt von Gesundheit und Lebensunterhalt essentiell notwendig. Immobilität resultiert in einer reduzierten Lebensqualität, erhöhter finanzieller und pflegerischer Abhängigkeit von Dritten und nicht selten in erhöhten Kosten im Gesundheitssystem. Daneben muss auch eine adäquate Verkehrstüchtigkeit beim Führen des eigenen PKW's zum Eigen- und Fremdschutz sichergestellt sein.

Alleine in der Klinik für Orthopädie und orthopädischer Chirurgie der Universitätskliniken des Saarlandes wurden im Jahre 2012 über 400 Prothesenimplantationen an Hüfte und Kniegelenk durchgeführt. Ein großer Teil dieser Patienten gab an, noch regelmäßig

selbstständig Auto zu fahren. Der postoperative Rehabilitationsverlauf beeinflusst nicht selten maßgeblich die Entscheidung hinsichtlich des Operationszeitpunktes. So äußerten viele Patienten einen Beratungswunsch, ab wann sie nach der Prothesenimplantation wieder aktiv am Straßenverkehr teilnehmen können, ohne sich und andere Verkehrsteilnehmer zu gefährden. In den vergangenen Jahren wurde dieses Thema nur unzureichend untersucht (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Liebensteiner et al., 2010) (Jordan et al., 2015) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016).

Ziel der Arbeit war es, unter optimalen realitätsgetreuen Bedingungen mittels 3-D-Simulation am Fahrsimulator neue Erkenntnisse über die Fahrtüchtigkeit von Gonarthrosepatienten zu erlangen. Zudem war es das Ziel zu prüfen, zu welchem Zeitpunkt nach einer Prothesenimplantation eine sichere Wiederteilnahme am Straßenverkehr möglich ist, um die Patienten hinsichtlich des postoperativen Rehabilitationsverlaufes adäquat beraten zu können.

3 Material und Methoden

3.1 Patienten

In einer prospektiven Studie wurden Daten von 37 Patienten erhoben, die zwischen August 2014 und September 2015 wegen eines Arthroseleidens des rechten Kniegelenkes die Endoprothesensprechstunde des nach ClarCert® zertifizierten Endoprothesenzentrums der Klinik für Orthopädie und Orthopädischen Chirurgie des Universitätsklinikum des Saarlandes besucht haben und im Verlauf mit einer Endoprothese versorgt wurden (gon, n=37).

Das Durchschnittsalter der Patienten betrug $65,91 \pm 8,64$ Jahre. Der jüngste Patient war 42 Jahre alt, der älteste Patient 82 Jahre alt. Abbildung 3 zeigt einen Überblick über die Altersverteilung und die Anzahl der Probanden in den jeweiligen Altersklassen. (Abb. 3) Es wurden 17 Männer (45,94%) und 20 Frauen (54,06%) eingeschlossen. Der Body Mass Index (BMI) betrug im Durchschnitt $29,93 \text{ kg/m}^2$. Alle Probanden waren im Besitz eines Führerscheins und noch regelmäßig aktiv am Straßenverkehr beteiligt.

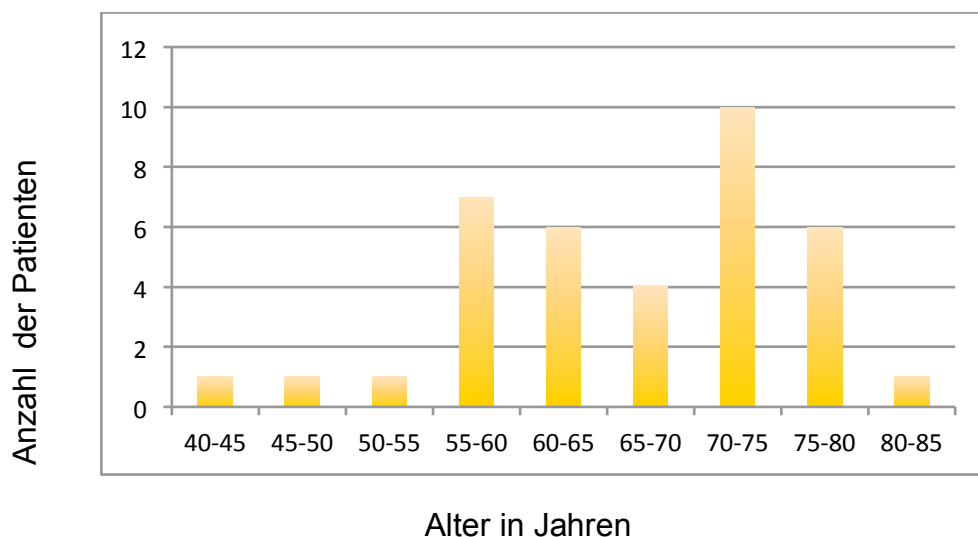


Abb. 3: Altersverteilung und die Anzahl der Probanden in den jeweiligen Altersklassen

Alle Probanden erfüllten folgende Einschlusskriterien:

- Arthrose des rechten Kniegelenkes
- Indikation zur Implantation einer Knieendoprothese rechts
- Alter >40 Jahre <85 Jahre
- Schriftliche Einwilligung in die Teilnahme an der Studie

Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie waren:

- Keine aktive Teilnahme am Straßenverkehr (KFZ-Benutzung)
- Frakturen oder Vor-Operationen am zu untersuchenden Gelenk oder Nachbargelenk
- Lumboischialgie rechts
- Paresen der unteren Extremität
- Entzündungen der unteren Extremität
- Neuromuskuläre Grunderkrankungen
- Flexionsdefizit Kniegelenk (kleiner 90°)
- Nicht ausgeglichene Visuseinschränkung

Als Zwischenausschlusskriterien definierten wir:

- Postoperative Komplikationen wie Blutungen, Wundheilungsstörungen, Infektionen, Nervenläsionen mit konsekutiven Sensibilitätsstörungen oder Lähmungen
- Postoperative Anlage von Orthesen oder Gipsverbänden.

Gesunde gleichaltrige Probanden dienten als Kontrolle (con; n=30). Das Durchschnittsalter der Kontrollgruppe betrug 58,9 Jahre \pm 11,02 Jahre. Es wurden 20 Männer (66,66%) und 10 Frauen (33,34%) eingeschlossen. Der Body Mass Index (BMI) betrug im Durchschnitt 27,34 kg/m².

3.2 Röntgen

Alle in dieser Studie ausgewerteten Röntgenbilder wurden zwischen August 2014 bis September 2015 in der radiologischen Abteilung der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar angefertigt. Bei allen Probanden erfolgten die Röntgenaufnahmen standardisiert im anteroposterioren Strahlengang (Kniegelenk a.p. und seitlich), mittels Patellatangentialaufnahme (p.t.), Ganzbeinstandaufnahme sowie im Valgus-Varus-Stress (Varus-Valgus a.p.).

Verwendet wurden hierfür die Geräte Philips Healthcare 2010 und Varian Medical System 2011. Hinsichtlich der Bildqualität besteht kein Unterschied zwischen diesen beiden Röntgenapparaten.

Die Auswertung der Bilder erfolgte standardisiert am PLANILUX Röntgenfilmbetrachter der Firma Siemens (43x105 cm). Dieser unterliegt gemäß Berufsgenossenschaftlicher Vorschrift (BGV A2 und BGV A3) regelmäßigen Kontrollen.

3.3 Implantate

Alle Patienten, welche in unserer Studie eingeschlossen wurden, unterzogen sich an der orthopädischen Universitätsklinik Homburg einer primären Prothesenversorgung des rechten Kniegelenks. Es wurden ausschließlich Implantate der Firma Stryker (Triathlon) verwendet. Die Wahl des korrekten Implantats erfolgte nach eingehender Planung durch den Operateur in Zusammenschau des klinisch-radiologischen Befundes für jeden Patienten individuell. Abhängig von Bandstabilität, Beinachse und Knochenqualität kamen CR (Cruciate Retaining) Triathlon Prothesen oder PS (Posterior Stabilized) Triathlon Prothesen zur Anwendung. Keiner der an dieser Studie eingeschlossenen Patienten erhielt einen TS (Total Stabilized) Gelenkersatz.

Die jeweiligen Prothesentypen gemäß Herstellerangaben wurden mit Polymethylmethacrylat-(PMMA)-Knochenzement implantiert (Stryker). Die verwendeten Triathlon Prothesen bestehen aus einer Chrom-Cobalt-Molybdän-Legierung und sind in unterschiedlichen Größen vorhanden. Das Inlay besteht auf einer hochquervernetzten Polyethylenschicht (Stryker).

3.4 Operationsverfahren

Bei allen Patienten wurde ein parapatellarer Zugang nach Payr durchgeführt. Nach Bridenlösung und Hoffateilresektion wurden auch die Menisken und das Lig. cruciatum anterius entfernt. Nach Eversion der Patella erfolgte die Zurichtung des femoralen und tibialen Knochens mittels Sägelehren unterschiedlicher Größen. Mit Hilfe von Probekomponenten wurden Bewegungsumfang, Stabilität und Lauf der Patella überprüft. Anschließend wurde die spongiöse Knochenoberfläche mit der pulsierenden Lavage gereinigt und die endgültigen Prothesenkomponenten mit hochviskösem, PMMA-Knochenzement einzementiert. Es erfolgte ein sukzessiver schichtweiser Wundverschluss sowie eine Hautklammernaht (Kohn & Pohlemann, 2014, S. 114-118).

3.5 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgte bei allen Patienten nach klinikinternem Standard und gemäß den Richtlinien nach EndoCert. Eine Thromboseprophylaxe wurde nach den AWMF-Richtlinien (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.) mittels niedermolekularem Heparin durchgeführt. Zusätzlich erhielten die Patienten zur Schmerzlinderung Analgetika nach dem WHO Stufenschema unter Magenschutz mit Protonenpumpenhemmern.

Die operierte Extremität wurde in der ersten postoperativen Woche Tag und Nacht in einer Schweizer-Schiene gelagert, in der zweiten postoperativen Woche nur noch über Nacht. Unter physiotherapeutischer Anleitung erfolgte die Mobilisation des Patienten auf Stationsebene. In der ersten postoperativen Woche erfolgten aktive und passive Flexionsübungen bis 90°. In der zweiten postoperativen Woche sollte ein Bewegungsumfang von 0-0-90° möglich sein.

Am zweiten postoperativen Tag erfolgte der erste Verbandwechsel. Dieser wurde bei regelrechtem Verlauf turnusmäßig alle 2 Tage während des stationären Aufenthaltes durchgeführt. Spätestens am dritten postoperativen Tag wurden die Redondrainagen gezogen, um das Risiko einer postoperativen exogenen Infektion zu minimieren. Laborkontrollen (Blutbild, Gerinnung, CRP) wurden am Tag 1, 2, 5 und 7 und danach alle 3-4 Tage durchgeführt.

Postoperative Röntgenkontrollen zur Überprüfung der korrekten Implantatlage erfolgten zwischen dem 5. und 10. Tag (Knie a.p., seitlich und pat. tang.) Das Nahtmaterial wurde am 14. postoperativen Tag entfernt.

Alle Studienteilnehmer führten eine postoperative stationäre Rehabilitationsmaßnahme durch. Nach Abschluss der Anschlussheilbehandlung erfolgte bei allen Probanden eine intensive physiotherapeutische Weiterbehandlung. 6 und 12 Wochen nach der Operation erfolgte turnusgemäß eine klinisch-radiologische Verlaufskontrolle in der Endoprothesensprechstunde der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie der Universität des Saarlandes.

3.6 Projektpartner

Die Entwicklung dieses Projekts entstand in engmaschiger Zusammenarbeit mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken.

Das Fahrsimulatorlabor und die darin verarbeitete Software Open DS wurden von der Automotive Forschungsgruppe des DFKI und dem daraus entstandenen Spin-Off-

Unternehmen White_c zur Verfügung gestellt. White_c ist dabei maßgeblich an der industriellen Forschung und Entwicklung sowie an der Betreuung wissenschaftlicher Experimente im Bereich Automobilindustrie, Mobilität und Verkehr beteiligt. Das interdisziplinäre Team, bestehend aus Psychologen und Informatikern, kann somit auf eine langjährige Forschungserfahrung zurückgreifen. Zwischen dem Spin-off Unternehmen White_c und der Automotive Gruppe des DFKI besteht eine engmaschige Zusammenarbeit mit dem Verbund der Universität des Saarlandes.

3.7 Fahrsimulator

Alle Versuche wurden an einem extra für unsere Studienzwecke modifizierten Fahrsimulator durchgeführt. Das Modell des OpenDs-3D-Fahrsimulators stellt ein etabliertes Verfahren zur Unfallanalyse dar und hat sich in vorangehenden Studien bereits bestens bewährt (Math, Mahr, Moniri & Müller, 2012) (Hofmann et al., 2013) (Castronovo, 2014). Es handelt sich dabei um einen Fahrsimulator, bestehend aus einem echten PKW (Marke Smart, Mercedes Benz), welcher ein realitätsnahes Fahrerlebnis durch echte Fahrzeug-Haptik und -Optik ermöglicht. Nach dem Einsteigen in die Fahrerkabine, der Einstellung von Fahrersitz und Spiegel, steuert der Proband das Fahrzeug mit Originalpedalen und dem Lenkrad virtuell durch die Simulationsfahrt. Der realistische Eindruck des Fahrens wird dadurch komplettiert, dass das Fahrzeug direkt vor einer gewölbten Panoramaleinwand aufgebaut ist. (Abb. 4 und Abb. 5)

Hochauflösende Punktwolken, welche auch in der Vermessungstechnik Anwendung finden, bilden die Basis für die virtuelle Umgebung. Ein 3D-Laserscanner tastet die Umgebung aus verschiedenen Positionen ab und führt die Einzelaufnahmen zu einer riesigen Punktwolke mit mehreren hundert Millionen Punkten zusammen.

Die Fahrsimulatorsoftware Open DS ermöglicht die Visualisierung dieser Datenmenge und dadurch eine realistische Fahrphysik. Durch eine Zylinderprojektion, mit Hilfe von zwei Beamern, wird die Darstellung der Wegstrecke im Blickfeld des Fahrers sowie der Umgebung beim Blick aus den Seitenfenstern ermöglicht. Durch diese Technik konnten für den Fahrer realistische Versuchsbedingungen geschaffen werden, welche sowohl für valide Studien, als auch für die Nutzerakzeptanz essentiell sind.



Abb. 4: Versuchsaufbau in der Rückansicht.



Abb. 5: Versuchsaufbau in Aufsicht

Während der Simulationsfahrt steuert der Proband seinen PKW in der Mitte einer Autokolonne auf einer geradstreckigen, ebenen Landstraße. Der Proband ist instruiert, auf Brems- und Verlangsamungsereignisse des vorderen Autos, sowie auf Blinkereignisse des hinteren Autos durch Blicke in den Rückspiegel zu achten. (Abb. 6) Nimmt der Proband ein Blinken des Fahrzeugs hinter ihm wahr, wird ein zusätzlich am Lenkrad angebrachter Schalter betätigt. So kann gewährleistet werden, dass der Proband nicht nur auf die Bewegungen des vor ihm fahrenden Autos achtet, sondern auch seine Umgebung gleichermaßen wahrnimmt. Dadurch kann ein dem echten Straßenverkehr ähnliches Aufmerksamkeitsniveau erreicht werden.



Abb. 6: Ansicht der Simulation aus der Perspektive des Probanden vom Fahrersitz aus. Oben rechts eingeblendet die Spiegelansicht mit dem hinterher fahrenden PKW

Die von Drucksensoren an Lenkrad, Gas- und Bremspedal gemessenen Signale, werden an einen angeschlossenen PC weitergeleitet und als Datensatz gespeichert.

Es wurden folgende Daten erhoben:

RT (reaction time) gasOff: Zeit, die der Proband benötigt, um bei einem Bremsereignis den rechten Fuß vom Gaspedal zu nehmen.

RT brake0: Zeit, die der Proband benötigt, um bei einem Bremsereignis den rechten Fuß auf das Bremspedal aufzusetzen.

RT brake80: Zeit, die der Proband benötigt, um bei einem Bremsereignis das Bremspedal zu 80% durchzudrücken.

RT TurnSignal: Zeit, die der Proband benötigt, um auf das Blinksignal des hinter ihm fahrenden Autos zu reagieren.

Es werden zudem Daten gesammelt, wie oft der Proband Brems-, Verlangsamungs- und Blinkereignisse vollständig verpasst hat. Durch im Lenkrad integrierte Sensoren wird zudem die Abweichung von der Fahrbahnmitte gemessen.

3.8 Studiendesign

In der vorliegenden Studie handelt es sich um eine prospektive Kohortenstudie. In einem Zeitraum von 17 Monaten wurden Daten von 37 Patienten erhoben, die wegen eines Gonarthroseleidens rechts in Behandlung waren und sich im Verlauf einem endoprothetischen Gelenkersatz unterzogen (gon, n=37). Gesunde Gleichaltrige dienten als Kontrolle (con, n=30).

Die Simulationsfahrten erfolgten bei den Gonarthrosepatienten einen Tag vor der geplanten Operation (t0) sowie 6- (t1) und 12- (t2) Wochen postoperativ. (Abb. 7)

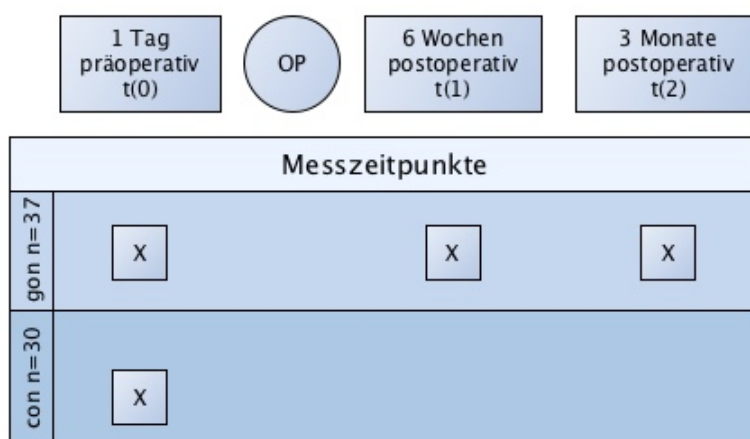


Abb. 7: Studienprotokoll

Alle Probanden unterzogen sich dem gleichen standardisierten Testablauf:

- Aufklärungsgespräch (Anlage 1)
- Klinische Untersuchung (Anlage 2)
- Erhebung des Hospital for Special Surgery Score (HSS) nach Ranawat und Shine (Anlage 3)
- Visuelle Analogskala im Alltag (Anlage 4)
- Einführung in den Fahrsimulator und Erläuterung der Fahraufgaben (Anlage 5)
- Durchführung von drei Simulationsfahrten
- Visuelle Analogskala während der Testung (Anlage 6)
- DALI-Fragebogen zur Belastung (Anlage 7)
- EuroQol-VAS zur subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit (Anlage 8)
- Abschlussfragebogen (Anlage 9)
- Analgetikaeinnahme (Anlage 10)

Pro Patient dauerte der Versuchsablauf durchschnittlich 45 Minuten.

Abbruchkriterien waren:

- Übelkeit/Erbrechen
- Schwindel
- Zu starke Schmerzen
- Ohne Gründe jederzeit auf Patientenwunsch

3.9 Fahraufgaben

Vor Versuchsbeginn erfolgte die Aufklärung durch den Untersucher sowie die schriftliche Einverständniserklärung durch den Patienten. Der Patient wurde instruiert, - analog zur Alltagssituation im eigenen PKW -, auf dem Fahrersitz des Fahrsimulators Platz zu nehmen, sich anzuschnallen und alle Einstellungen (Sitz, Spiegel) so vorzunehmen, dass er sowohl das Lenkrad als auch die Pedale aus einer bequemen Position aus bedienen konnte.

Anschließend wurde dem Probanden ein standardisierter Text zum Versuchsablauf vorgelesen und ihm die Möglichkeit für Rückfragen gegeben.

Die erste Simulationsfahrt diente der Instruktion und der Eingewöhnung des Patienten an die Versuchsbedingungen. Dem Probanden wurde erläutert, dass er sich in der Mitte einer

Autokolonne, auf einer geraden Strecke ohne Gegenverkehr, befindet. Das Auto vor bzw. hinter ihm passte sich dabei an seine Geschwindigkeit an. Er wurde gebeten, konstant eine Geschwindigkeit von 90 km/h und einen Sicherheitsabstand von 35 Metern zum vorausfahrenden Auto einzuhalten. Der Sicherheitsabstand wurde bei der Instruktionsfahrt aus didaktischen Gründen eingeblendet, in den darauffolgenden Fahrten war er analog zu Situationen im realen Straßenverkehr nicht mehr einzusehen. Die Instruktionsfahrt dauerte durchschnittlich 3 Minuten.

Die zweite Simulationsfahrt diente dazu, den Probanden zu den geplanten Bremsereignissen zu instruieren:

1. „Das vordere Auto bremst plötzlich, das Bremslicht leuchtet auf. Betätigen Sie so schnell und kräftig wie möglich die Bremse und halten Sie den Sicherheitsabstand ein!“ (Vollbremsungsereignis)
2. „Das voranfahrende Auto wird danach wieder auf 90 km/h beschleunigen. Versuchen Sie, möglichst schnell wieder aufzuschließen, so dass die vorherige Geschwindigkeit und der Sicherheitsabstand wiederhergestellt sind“
3. „Das vordere Auto wird etwas langsamer, ohne zu bremsen (kein aufleuchtendes Bremslicht). Betätigen Sie die Bremse und halten Sie den Sicherheitsabstand ein!“ (Verlangsamungsereignis)
4. „Das voranfahrende Auto wird danach wieder auf 90 km/h beschleunigen. Versuchen Sie, möglichst schnell wieder aufzuschließen, so dass die vorherige Geschwindigkeit und der Sicherheitsabstand wiederhergestellt sind“
5. Behalten Sie regelmäßig den Straßenverkehr im Rückspiegel im Auge. Das Auto hinter Ihnen blinkt plötzlich links. Betätigen Sie dann sofort die Taste auf dem Lenkrad! (Situationsbefinden)

Die zweite Simulationsfahrt dauerte durchschnittlich 3 Minuten. Alle 15 Sekunden musste der Proband auf ein unterschiedliches Ereignis reagieren. Pro Instruktionsfahrt waren insgesamt vier Blinkereignisse, vier Verlangsamungs- und vier Bremsereignissen vorgesehen.

Nach erneuter Prüfung des Wohlbefindens des Probanden erfolgte die 6-minütige Simulationsfahrt zur Erfassung der Bremsreaktionszeiten auf insgesamt acht Verlangsamungs- und Vollbremsereignisse. Zudem wurde die Wahrnehmung der Umgebung unter Zuhilfenahme von acht Blinkereignissen des Fahrzeugs im Rückspiegel sichergestellt.

Die Ereignisse fanden in einem zeitlichen Abstand von mindestens 15 Sekunden zueinander statt.

3.10 Parameter

Bei allen Probanden wurden folgende Parameter erhoben:

- Reaktionszeiten (Kap. 3.10.1)
 - Thinking time (Zeit von Reizeinfluss bis der Fuß vom Gaspedal genommen wird)
 - Movement time (Zeit von Reizeinfluss bis Fußkontakt Bremse)
 - Brake travel time (Zeit von Reizeinfluss bis 80% der Bremse betätigt werden)
- Klinische Untersuchung (Kap. 3.10.2, Anlage 2)
- HSS (Kap. 3.10.3, Anlage 3)
- Visuelle Analogskala im Alltag (VAS-U) (Kap. 3.10.4, Anlage 4)
- Visuelle Analogskala während Simulationsfahrt (VAS-T) (Kap. 3.10.5, Anlage 6)
- Fragebogen DALI (Kap. 3.10.6, Anlage 7)
- Subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit (EuroQol-VAS) (Kap. 3.10.7, Anlage 8)
- Abschlussfragebogen (Kap. 3.10.8, Anlage 9)
- Analgetikaeinnahme (Kap. 3.10.9, Anlage 10)
- Bildgebung (Kap. 3.10.10)

3.10.1 Reaktionszeiten

Bei den Versuchsfahrten wurden folgende Parameter bei Vollbremsungsereignissen und Verlangsamungsereignissen erhoben:

- 1 Thinking time (Gasoff): Beschreibt die Zeit, die der Proband benötigt, nach einem Bremsereignis des vorausfahrenden Fahrzeuges den rechten Fuß vollständig vom Gaspedal zu nehmen.
- 2 Movement time (Brake 0): Beschreibt die Zeit, die der Proband benötigt, nach einem Bremsereignis des vorausfahrenden Fahrzeuges den rechten Fuß auf das Bremspedal aufzusetzen.

- 3 Brake travel time (Brake 80): Zeit, die der Proband benötigt, nach einem Bremsereignis des vorausfahrenden Fahrzeuges das Bremspedal zu 80% durchzudrücken. Eine vollständige Bremsaktion wurde durch das DFKI auf das zu 80% betätigte Bremspedal festgelegt. Die Betätigung der Bremse zu 100% ist bei dem hier verwendeten Versuchsmodell der Marke Smart (Daimler-AG) auf Grund eines zu hohen Pedalwiderstandes bei stehendem Motor nicht möglich.

3.10.2 Untersuchung

Die körperliche Untersuchung erfolgte am liegenden Patienten stets im Seitenvergleich. Inspektorisch wurden Haut und Weichteilmantel sowie evtl. vorliegende Achsendeformitäten beurteilt. Druckdolenzen retropatellar, medial oder lateral wurden erfasst. Läsionen der Menisken oder Bandstrukturen wurden mit den im klinischen Alltag etablierten Standarduntersuchungsmethoden beurteilt. Zudem dokumentierten wir das Bewegungsausmaß nach der Neutral-Null-Methode (Extension/Flexion), sowie eventuell vorliegende Störungen der peripheren Durchblutung, Motorik oder Sensibilität. Die Dokumentation erfolgte nach einem standardisierten Schema.

3.10.3 Hospital for Special Surgery Score (HSS) nach Ranawat und Shine

Bei allen Patienten wurde mittels des „Hospital for Special Surgery Score“ (HSS) nach Ranawat und Shine die Kniegelenksfunktion vor und nach der Kniealloarthroplastik erhoben (Ranawat, Insall & Shine, 1976).

Der Hospital for Special Surgery Score (HSS) erfasst sowohl subjektive funktionelle Kriterien als auch objektive Untersuchungsbefunde. Der Proband wird zu seinen Schmerzen, seiner Gehstrecke, dem Bewegungsumfang, der Muskelkraft, Beugedeformität und Instabilität befragt und untersucht. Jede Antwort, bzw. jedem Untersuchungsergebnis wird ein bestimmter Punktwert zugeschrieben. Am Ende werden alle Punkte zusammengezählt und auf dem Dokument vermerkt. Eine Punktzahl zwischen 85-100 interpretieren die Autoren als eine exzellente Kniefunktion, eine Punktzahl zwischen 70-81 als gute Kniefunktion, eine Punktzahl zwischen 60-69 als eine angemessene Funktion und ein Punktwert unter 60 für als mangelhafte Kniefunktion. Der HSS hat sich in der Vergangenheit zur präoperativen Funktionsbeurteilung als auch zur postoperativen Kontrolle nach Kniealloarthroplastik außerordentlich bewährt (Lützner et al., 2011) (Kim Y.H., Kim J.S. & Oh, 2002).

3.10.4 Visuelle Analogskala U (VAS-U)

Alle Probanden wurden mit Hilfe einer visuellen Analogskala zu Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit ihrem rechten Kniegelenk im Alltag befragt. Mit Hilfe dieser Skala können subjektive Empfindungen im Alltag während der Testfahrten und in der Verlaufskontrolle objektiviert und vergleichbar gemacht werden. Im klinischen Alltag und in vorangehenden Studien hat sich die Beurteilung dieser Parameter mit dem VAS sehr bewährt (Lorbach, Anagnostakos, Scherf, Seil, Kohn & Pape, 2010).

Der Proband ordnet dabei sein subjektives Schmerzempfinden auf einer Skala von 0 bis 10 einem Zahlenwert zu (0 „schmerzfrei“ bis 10 „sehr starke Schmerzen“). Analog hierzu erfolgt die subjektive Einschätzung der Kniefunktion und Zufriedenheit mit dem Kniegelenk im Alltag.

3.10.5 Visuelle Analogskala T (VAS-T)

Unmittelbar nach den Simulationsfahrten wurden alle Probanden zu ihrem subjektiven Empfinden im rechten Kniegelenk während der Fahrt befragt. Schmerzempfinden, Funktion und Zufriedenheit wurden analog zur Erhebung vor der Fahrt mittels visueller Analogskala erhoben (VAS-T).

3.10.6 Driving activity load index (DALI) Fragebogen

Der 2008 von Pauzie etablierte „driving activity load index“ (DALI) erlaubt eine Erhebung der psychischen Belastung des Fahrers während des Autofahrens (Pauzie, 2008). Durch gezielte Fragestellungen können Rückschlüsse auf die psychische Belastung der Probanden während der Testfahrten eruiert werden. Der Fragebogen hat sich hierbei bereits in vorangehenden Fahrsimulationsstudien bestens bewährt (Gabaude, Baracat & Jallais, 2012) (Pauzie, 2008) (Bernhardi, 2018).

Der Proband wird gebeten, seine psychische Beanspruchung in verschiedenen Kategorien einzuschätzen. Dabei kann er sich zwischen 5 Graden von geringer bis zu sehr hoher Belastung entscheiden. Bei allen Probanden wird dabei die individuelle Beanspruchung bezüglich der globalen Aufmerksamkeit, der visuellen und auditiven sowie der motorischen Anforderung erfasst. Zudem wird das individuelle Stressempfinden evaluiert. Mit dem Kriterium „zeitliche Anforderung“ wird der Proband angehalten, sich zum schnellen zeitlichen

Aufeinanderfolgen der einzelnen Ereignisse und der damit verbundenen Anforderung für den Probanden während des Versuchs zu äußern. Zuletzt wird der Proband gebeten, seine Beanspruchung durch die zusätzliche Aufgabe des Knopfdrückens bei blickendem Auto im Rückspiegel unter dem Kriterium „Interferenz“ einzuordnen.

3.10.7 EuroQol-VAS

Der 1987 von der EuroQol (European Quality of Life) Group entwickelte EQ-5D ist ein weitverbreitetes Instrument zur Messung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (Devlin & Brooks, 2017) und wurde bereits in vielen Studien verwendet (Yorke et al., 2015) (Abbott, Hawe & Garry, 2003) (Bernhardi, 2018). Mit Hilfe der visuellen Analogskala des EuroQol-VAS wird bei allen Probanden die persönliche Einschätzung bezüglich der Fahrtüchtigkeit zum heutigen Zeitpunkt auf einer Skala erfasst. Die Skala wird in Prozent angegeben. Dabei steht 0% für „Ich fühle mich überhaupt nicht fahrtüchtig“ und 100% für „Ich fühle mich komplett fahrtüchtig“.

3.10.8 Abschlussfragebogen

Der Abschlussfragebogen besteht aus 13 Aussagen zu der Fahrsimulation. Bei allen Probanden wurde erfasst, inwieweit die jeweilige Aussage ihrem subjektiven Empfinden entspricht bzw. ihr eigenes Verhalten im Rahmen der Simulationsfahrt widerspiegelt. Jede Aussage kann vom Probanden in 7 Grade eingeteilt werden von 1 „trifft überhaupt nicht zu“ bis 7 „trifft vollständig zu“.

Neben Abfragen des Aufgabenverständnisses, wurde die subjektive Einschätzung der eigenen Leistung, sowie das physische und psychische Befinden des Probanden während des Versuchs evaluiert. Bei allen Probanden wurde zudem die durchschnittliche jährliche Kilometerleistung erfasst und dokumentiert.

3.10.9 Analgetikaeinnahme

Alle Probanden wurden über ihren derzeitigen Analgetikabedarf zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt befragt.

3.10.10 Bildgebung

Bei allen Probanden wurden präoperativ Röntgenaufnahmen des betroffenen Kniegelenks in a.p., seitlich, Patellatangentialaufnahme, Ganzbeinaufnahme und Stressaufnahme (valgus-varus) angefertigt. Präoperativ erfolgte die Einteilung des Arthrosestadiums nach Kellgren und Lawrence (Kellgren & Lawrence, 1957).

3.11 Datenerfassung und Statistik

Sämtliche erhobenen Daten während der Simulationsfahrten wurden unter Zuhilfenahme der Software OpenDS (entwickelt von der Automotive Group des Deutschen Forschungszentrums für künstliche Intelligenz, Erweiterungssoftware zur Verfügung gestellt von White_c) erfasst und auf speziell angefertigten Messbögen dokumentiert. Im Anschluss an die jeweilige Versuchsreihe wurden die elektronischen Datensätze exportiert und zusammen mit den Daten aus den Messbögen in Microsoft Exceltabellen übertragen und elektronisch gespeichert.

Alle erhobenen Daten werden mit ihrem Mittelwert und der dazugehörigen Standardabweichung angegeben.

Die graphische Darstellung erfolgt mit Microsoft Excel und „IBM SPSS Statistics 24“ in Form von Kreis- und Kuchendiagrammen, Verlaufskurven und Boxplots.

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software „IBM SPSS Statistics 24“ der Firma IBM. Für die Auswertung der Messdaten wurde, wenn nicht anders angegeben, eine multivariate sowie univariate Varianzanalyse mit dem Post-hoc Test (Bonferroni) verwendet. Für die Berechnung von Zusammenhängen wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson angewendet.

Das Signifikanzniveau wurde jeweils auf $p < 0,05$ festgelegt.

4 Ziel der Studie

4.1 Ziel der Studie

In der Klinik für Orthopädie und orthopädische Chirurgie der Universitätskliniken des Saarlandes wurden im Jahre 2012 ca. 400 Endoprothesenoperationen durchgeführt. Ein großer Teil der Patienten gab an, wesentlich auf die Fortbewegung im eigenen Fahrzeug angewiesen zu sein. Bei der Klärung der Frage nach dem Wiedererlangen der Fahrtüchtigkeit nach einer Prothesenimplantation äußert der Patient nicht selten sogar schon vor der Operation einen eingehenden Beratungswunsch. Im klinischen Alltag wird die Freigabe zur Wiederteilnahme am Straßenverkehr individuell in Zusammenschau der klinischen und radiologischen Befunde erteilt.

Mit dem hier vorgestellten Modell sollten nun neue fundierte Erkenntnisse über die Fahrtüchtigkeit von Patienten mit Arthrose sowie nach endoprothetischen Eingriffen untersucht werden. Eine zu frühe Wiederteilnahme der operierten Patienten am Straßenverkehr könnte in einem erhöhten Unfallrisiko resultieren, wohingegen eine verzögerte Wiederteilnahme mit einer reduzierten Lebensqualität der Patienten einhergehen könnte.

Bis heute haben sich nur wenige Studien mit der Fragestellung beschäftigt, ab wann Patienten in der postoperativen Rehabilitationssphase wieder aktiv am Straßenverkehr teilnehmen können (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Hofmann et al., 2014) (Huang et al., 2014) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016). Die Empfehlungen der Autoren sind oft widersprüchlich zueinander, was eine adäquate Beratung der Patienten im klinischen Alltag deutlich erschwert. Das hier vorgestellte Fahrsimulationsmodell erlaubt mit modernster Technik und hoch realistischen Versuchsbedingungen die Beurteilung der Bewegungsfähigkeit des Kniegelenks während des Autofahrens, sowie insbesondere des Reaktions- und Bremsverhaltens der Probanden.

Anhand der Analyse der Reaktionszeiten auf verschiedene Bremsereignisse und subjektiven Einschätzung der Verkehrstüchtigkeit wurde dabei detailliert auf folgende Fragestellungen eingegangen:

1. Gefährden Patienten mit Arthrose des rechten Kniegelenkes den Straßenverkehr?

2. Anhand welcher Parameter lässt sich die Fahrfähigkeit eines Patienten mit einer rechtsseitigen Gonarthrose klinisch einschätzen?

3. Ist die Fahrtüchtigkeit nach 6 Wochen und 3 Monaten nach der Endoprothetikversorgung des rechten Kniegelenks wiedererlangt?

Durch fundierte Kenntnisse über den korrekten Zeitpunkt der Wiederteilnahme am Straßenverkehr könnte die Lebensqualität der Patienten in der Rehabilitationsphase deutlich gesteigert und das Unfallrisiko frisch operierter Personen reduziert werden. Der Erhalt der Mobilität erhöht den Grad der Selbstständigkeit, was außerdem soziale Hilfs- und Pflegeeinrichtungen entlasten und somit zu reduzierten Kosten im Gesundheitswesen beitragen könnte.

5 Ergebnisse

5.1 Analyse der Bremsreaktionszeiten

5.1.1 Verlangsamungsereignis

Bei der Analyse der zum Zeitpunkt $t(0)$ gemessenen Bremsreaktionszeiten auf ein Verlangsamungsereignis konnte kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den Gonarthrosepatienten und der gesunden Kontrollgruppe beobachtet werden.

Auch bei der Auswertung der erhobenen Messdaten auf ein Verlangsamungsereignis 6 Wochen postoperativ $t(1)$ zeigte sich keine signifikante Veränderung der Bremsreaktionszeit ($p > 0,05$) im Vergleich zu den präoperativen Ergebnissen der Patienten ($t(0)$). Für die Messungen Brake0 und Brake80 konnte zum Zeitpunkt ($t(1)$) lediglich eine leichte Verbesserung der Bremsreaktionszeiten beobachtet werden, welche jedoch nicht signifikant war ($p > 0,05$). (Abb. 8.1 – 8.3)

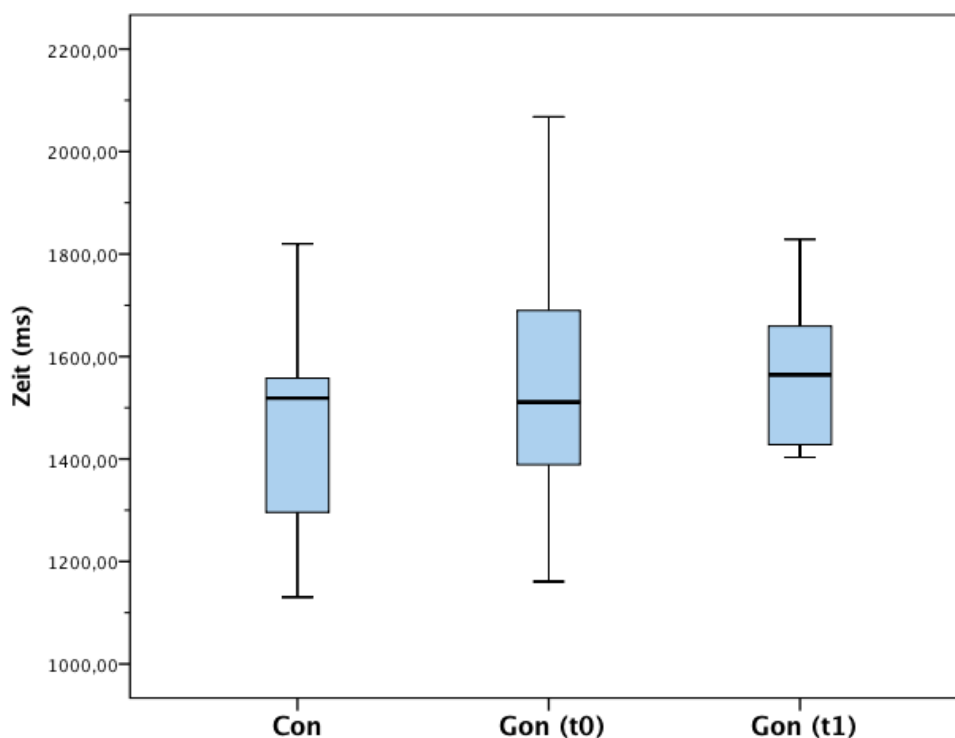


Abb. 8.1: Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Verlangsamungsereignis (GasOff) für die Kontrollgruppe (Con, $n=30$), Gonarthrose präoperativ (Gon (t_0), $n=37$) sowie sechs Wochen postoperativ (Gon (t_1), $n=16$); Gasoff means thinking time; * means $p < 0,05$ vs Con; ** means $p < 0,01$ vs Con; ° means $p < 0,05$ vs Gon, °° means $p < 0,01$ vs Gon.

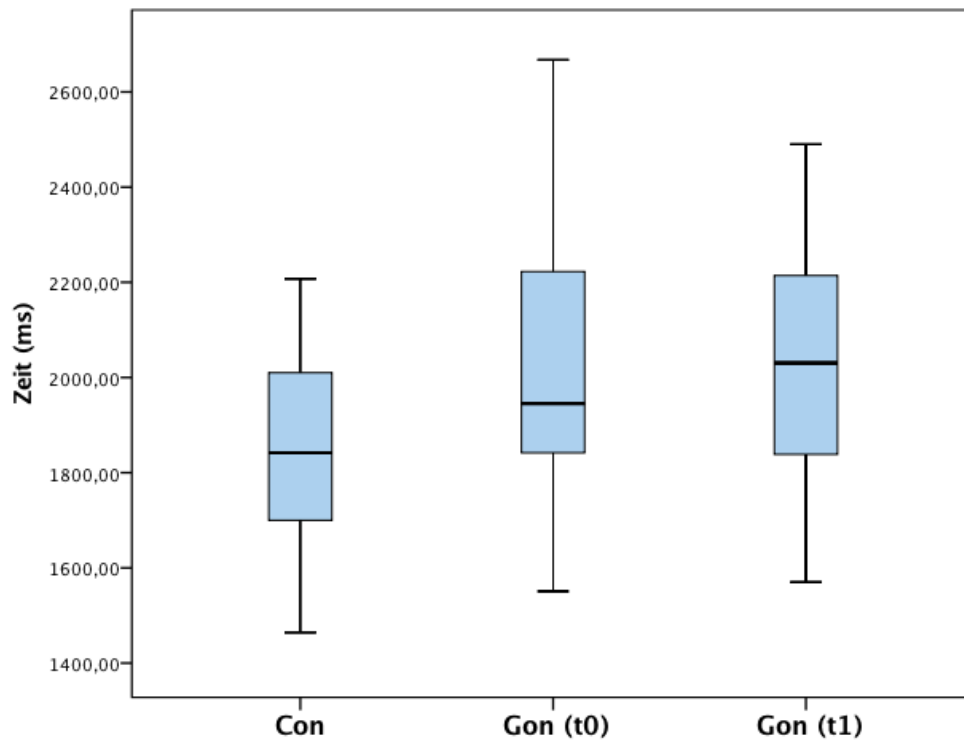


Abb. 8.2: Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Verlangsamungsereignis (Brake0) für die Kontrollgruppe (Con, n=30), Gonarthrose präoperativ (Gon (t0), n=37) sowie sechs Wochen postoperativ (Gon (t1), n=16); Brake0 means movement time; * means $p < 0,05$ vs Con; ** means $p < 0,01$ vs Con; ° means $p < 0,05$ vs Gon, °° means $p < 0,01$ vs Gon.

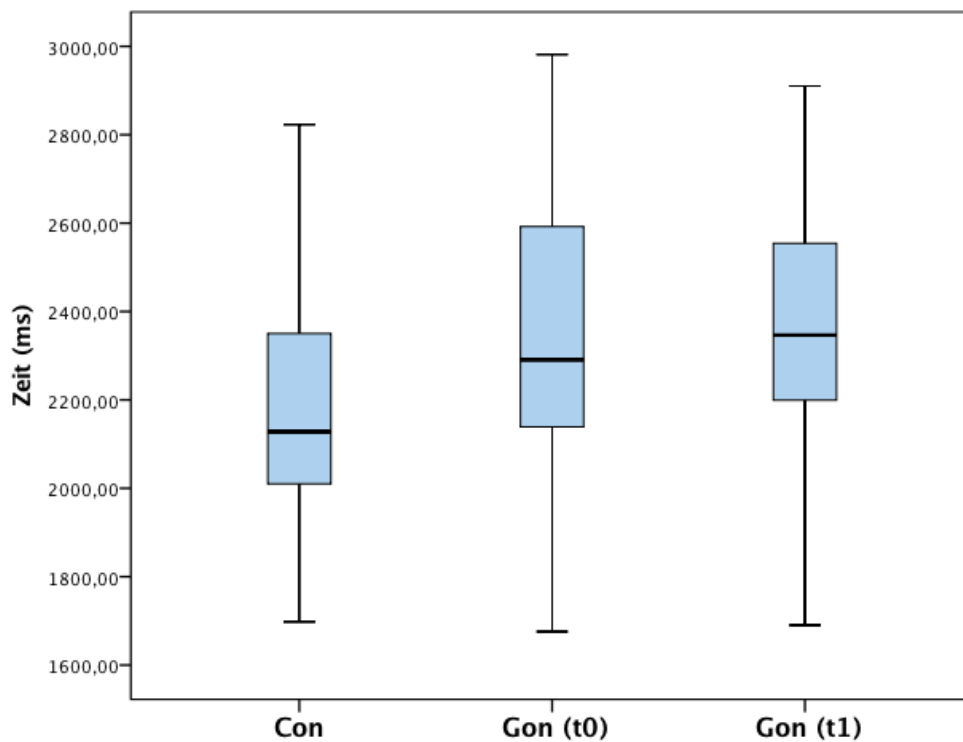


Abb. 8.3: Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Verlangsamungsereignis (Brake80) für die Kontrollgruppe (Con, n=30), Gonarthrose präoperativ (Gon (t0), n=37) sowie sechs Wochen postoperativ (Gon (t1), n=16); Brake80 means brake travel time; * means $p < 0,05$ vs Con; ** means $p < 0,01$ vs Con; ° means $p < 0,05$ vs Gon, °° means $p < 0,01$ vs Gon.

5.1.2 Vollbremsungsereignis

Bei der Analyse der Bremsreaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis konnte beobachtet werden, dass die Gonarthrosepatienten zum Untersuchungszeitpunkt t0 signifikant höhere Reaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe in den zwei Messvariablen Brake0 und Brake80 aufwiesen (Brake0 $p < 0,01$; Brake80 $p < 0,05$).

Bei der Auswertung der Messdaten zum Untersuchungszeitpunkt t1 zeigten sich signifikant verringerte Reaktionszeiten bei den Patienten nach Kniealloarthroplastik für die Messvariable GasOff und Brake0 im Vergleich zur präoperativen Messung (t0) (GasOff und Brake0 $p < 0,05$).

Vergleicht man die Daten der gesunden Kontrollgruppe mit den Messwerten der operativ versorgten Patienten zum Untersuchungszeitpunkt t1, so zeigte sich kein signifikanter Unterschied mehr in allen drei Messvariablen ($p > 0,05$). (Abb. 9.1 – 9.3)

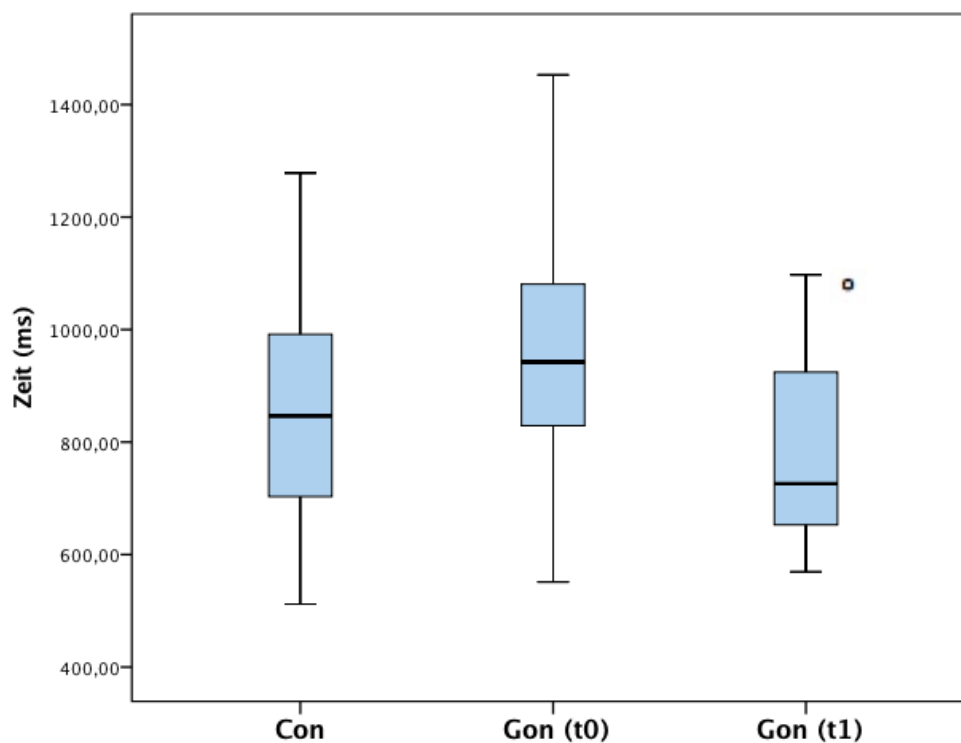


Abb. 9.1: Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Vollbremsungsereignis (GasOff) für die Kontrollgruppe (Con, $n=30$), Gonarthrose präoperativ (Gon (t0), $n=37$) sowie sechs Wochen postoperativ (Gon (t1), $n=16$); Gasoff means thinking time; * means $p < 0,05$ vs Con; ** means $p < 0,01$ vs Con; ° means $p < 0,05$ vs Gon, °° means $p < 0,01$ vs Gon.

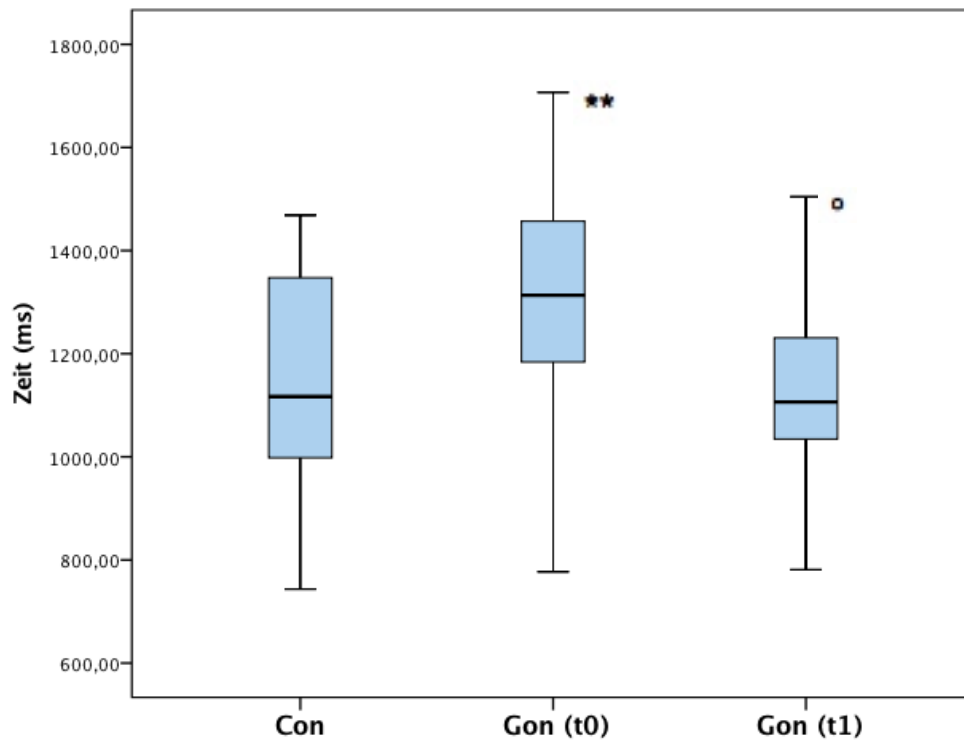


Abb. 9.2: Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Vollbremsungsereignis (Brake0) für die Kontrollgruppe (Con, n=30), Gonarthrose präoperativ (Gon (t0), n=37) sowie sechs Wochen postoperativ (Gon (t1), n=16); Brake0 means movement time; * means $p < 0,05$ vs Con; ** means $p < 0,01$ vs Con; ° means $p < 0,05$ vs Gon, °° means $p < 0,01$ vs Gon.

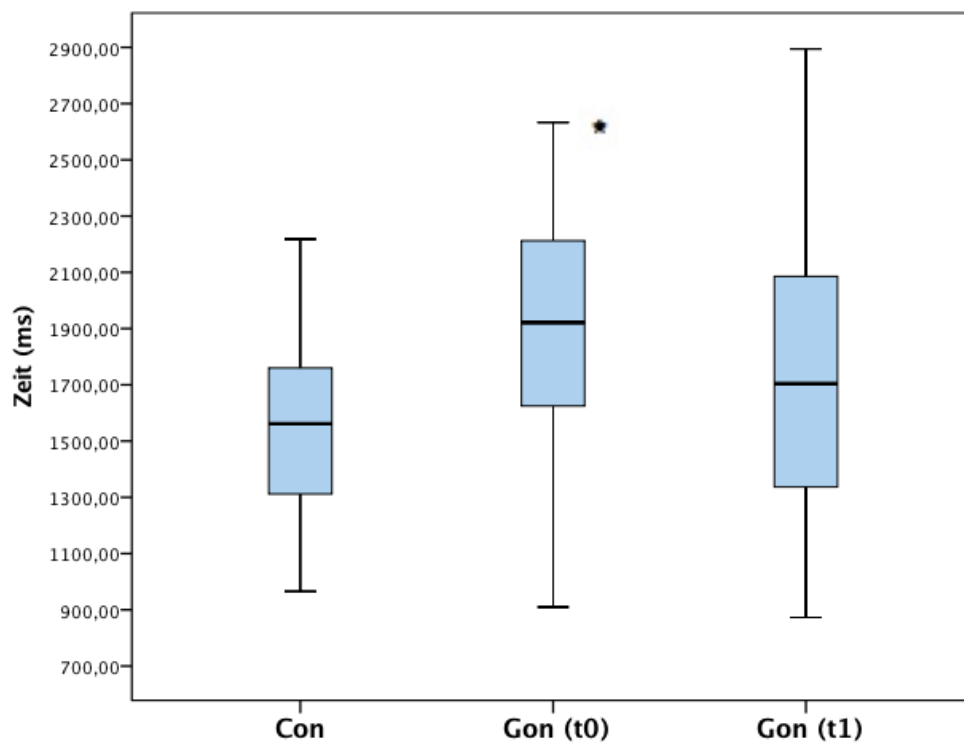


Abb. 9.3: Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Vollbremsungsereignis (Brake80) für die Kontrollgruppe (Con, n=30), Gonarthrose präoperativ (Gon (t0), n=37) sowie sechs Wochen postoperativ (Gon (t1), n=16); Brake80 means brake travel time; * means $p < 0,05$ vs Con; ** means $p < 0,01$ vs Con; ° means $p < 0,05$ vs Gon, °° means $p < 0,01$ vs Gon.

5.1.3 Langzeitverlauf

Aufgrund der hohen Ausfallquote zum zweiten Untersuchungszeitpunkt (t2) postoperativ - bedingt durch Nausea, Nichterscheinen zu Nachuntersuchungen, Ausscheiden aus persönlichen Gründen - konnten lediglich Datensätze von insgesamt 7 Probanden 12 Wochen postoperativ erhoben werden. Abbildung 10.1 – 10.3 zeigen die Zeitverläufe der jeweiligen Reaktionszeiten der Probanden pro Gruppe. (Abb. 10.1 - 10.3)

Bei der qualitativen Analyse auf Individualebene zeigte sich eine deutliche Verbesserung zum Untersuchungszeitpunkt t2 für die Messvariable GasOff bei einem Vollbremsungsereignis bei vier Patienten (VPN 30, 32, 47, 51) im Vergleich zu den zum Untersuchungszeitpunkt t0 erhobenen Daten. Beim Vergleich der Mittelwerte der gesunden Kontrollgruppe ($854\text{ms} \pm 186,82$) mit den Mittelwerten der Patienten nach Kniealloarthroplastik zum Untersuchungszeitpunkt t2 ($768\text{ms} \pm 41,93$) zeigte sich, dass die Patienten annähernd auf dem gleichen Reaktionsniveau wie die gesunde Kontrollgruppe lagen.

Die Messwerte von Proband Nr. 37 lagen zum Versuchszeitpunkt t2 bei den präoperativen Ausgangswerten (t0).

Bei zwei Patienten (VPN 26, 31) konnte allerdings eine Zunahme der benötigten Zeit beim Abheben des Fußes vom Gaspedal festgestellt werden (GasOff). Zum Untersuchungszeitpunkt t0 zeigten diese Patienten eine überdurchschnittlich gute Reaktionszeit im Vergleich der Mittelwerte auf das Ereignis GasOff sowohl im Vergleich mit der Kontroll- als auch zu der Gonarthrosegruppe. (Abb. 10.1)

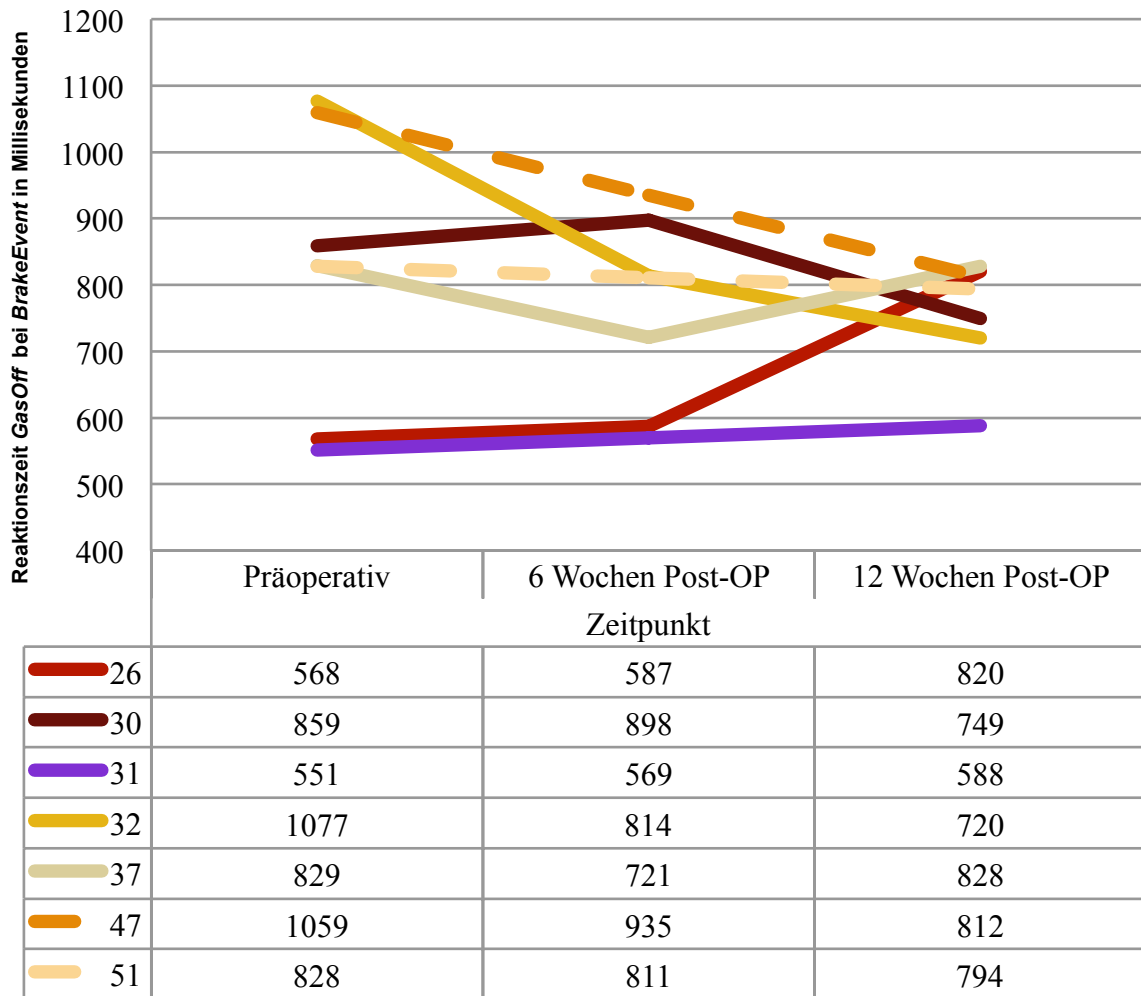


Abb. 10.1: Individueller Langzeitverlauf für Bremsreaktionszeit GasOff nach operativem Kniegelenkersatz bei Gonarthrosepatienten (n=7) zu den Zeitpunkten t1, t2 und t3 für die Versuchspersonen 26,30,31,32,37,47,51, gestrichelte Linien bedeuten interpolierte Daten.

Bei den individuellen Langzeitverläufen ergab sich eine Reaktionsverbesserung für das Event Brake0 3-Monate postoperativ (t2) bei fünf Patienten (VPN 30, 31, 32, 47, 51) im Vergleich zu den präoperativ erhobenen Daten.

Der Vergleich des Mittelwertes der gesunden Kontrollgruppe (1151ms \pm 241,89) mit dem Mittelwert der operierten Gonarthrosepatienten für den Versuchszeitpunkt t2 (1095ms \pm 124,44) zeigte, dass die Patienten nach Kniealloarthroplastik die annähernd gleiche Reaktionszeit wie die gesunde Kontrollgruppe auf dieses Ereignis aufwiesen. Bei zwei Patienten (VPN 26, 37) fand sich eine Verschlechterung für das Ereignis Brake0 im Vergleich zu ihren präoperativen Ausgangswerten. (Abb. 10.2)

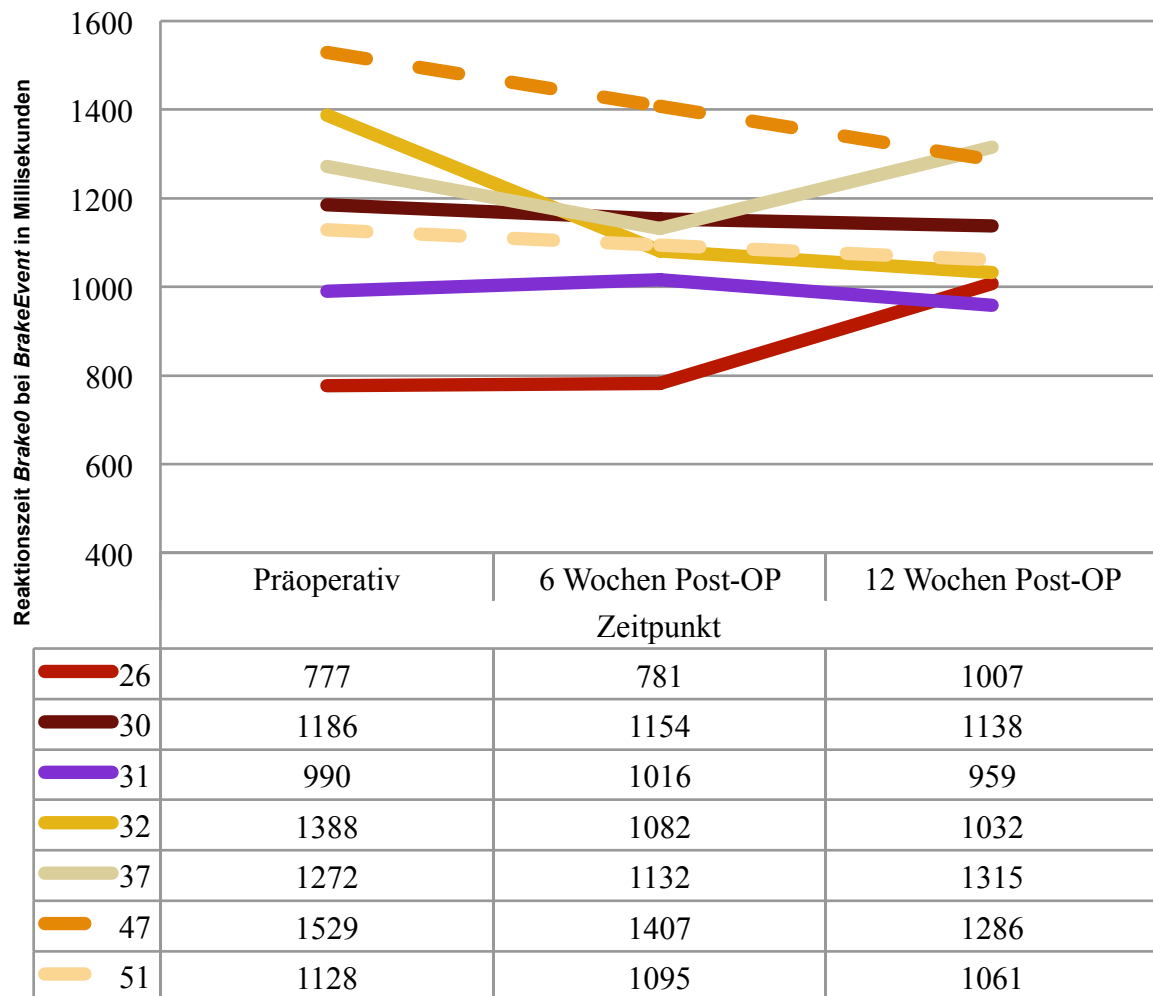


Abb. 10.2: Individueller Langzeitverlauf für Bremsreaktionszeit Brake0 nach operativem Kniegelenkersatz bei Gonarthrosepatienten (n=7) zu den Zeitpunkten t1, t2 und t3 für die Versuchspersonen 26,30,31,32,37,47,51, gestrichelte Linien bedeuten interpolierte Daten.

Bei der Untersuchung der Daten für das Vollbremsungsereignis Brake80 zeigte sich 3-Monate postoperativ eine Verbesserung der Reaktionszeit gegenüber ihres präoperativen Ausgangswertes bei drei Patienten (VPN 30,31, 32).

Dabei konnte VPN 31 seine Reaktionszeit sogar um 509 ms im Vergleich zur präoperativen Reaktionszeit verbessern.

Beim Vergleich des Mittelwertes zwischen der gesunden Kontrollgruppe ($1586\text{ms} \pm 435,78$) und den Patienten nach Kniealloarthroplastik zum Untersuchungszeitpunkt t2 ($1601\text{ms} \pm 301,27$) ergaben sich fast die gleichen Reaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis für die Patienten 3 Monate nach endoprothetischem Gelenkersatz wie bei den gesunden Probanden.

Zwei Patienten nach Kniealloarthroplastik (VPN 26, 51) haben zu diesem Zeitpunkt ihren präoperativen Ausgangswert für das vollständige Betätigen der Bremse noch nicht wieder erreicht. (Abb. 10.3)

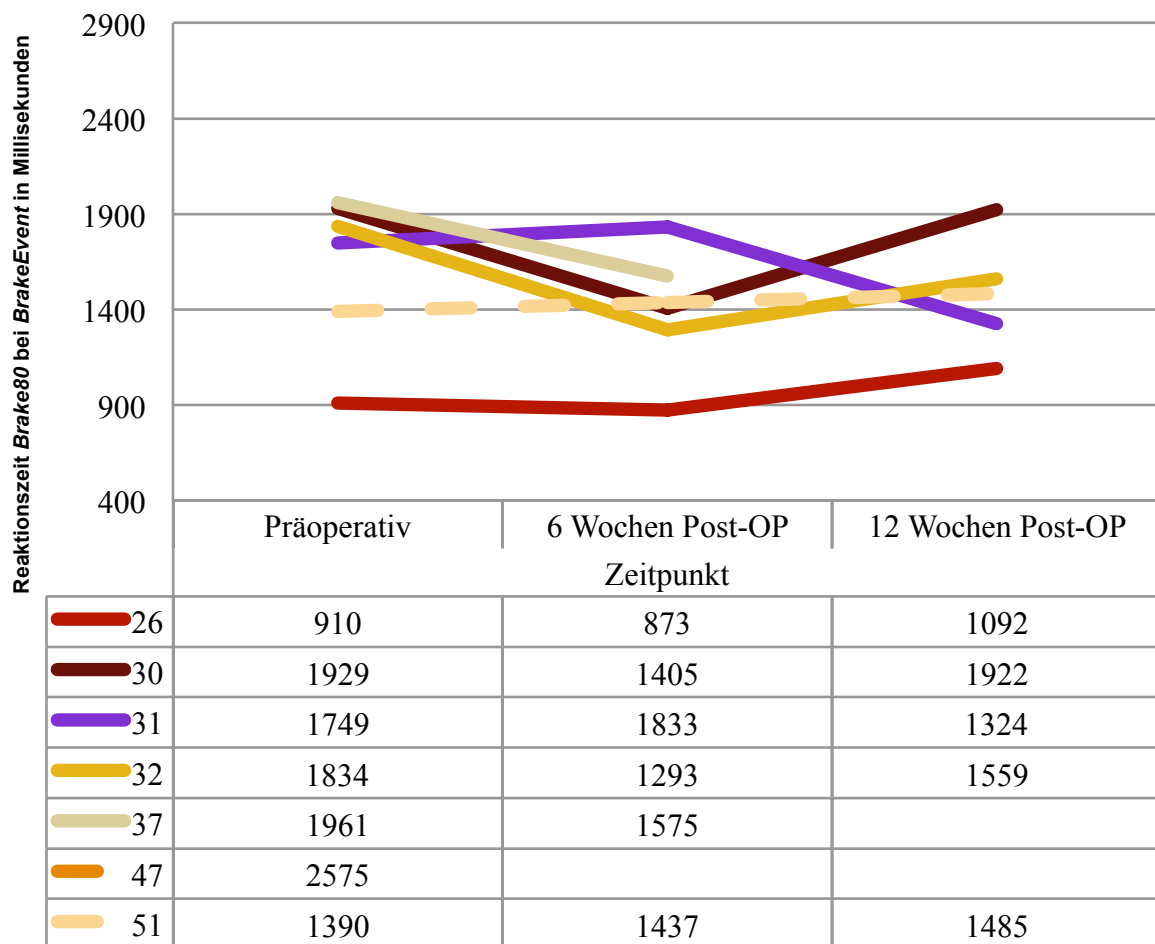


Abb. 10.3: Individueller Langzeitverlauf für Bremsreaktionszeit Brake80 nach operativem Kniegelenkserersatz bei Gonarthrosepatienten (n=7) zu den Zeitpunkten t1, t2 und t3 für die Versuchspersonen 26,30,31,32,37,47,51, gestrichelte Linien bedeuten interpolierte Daten.

5.2 Klinische Untersuchung

Gesunde Probanden (con; n=30) zeigten sich in der klinischen Untersuchung des rechten Kniegelenkes stets vollständig beschwerdefrei. Es wurden keinerlei Bewegungseinschränkungen oder Bandinstabilitäten festgestellt.

Bei der Untersuchung des Bewegungsausmaßes zeigten die Gonarthrosepatienten präoperativ (t0) eine deutliche Einschränkung. Die Flexion lag im Mittel bei $107,97^\circ \pm 17,05$ und die Extension bei $0^\circ \pm 0$.

Bei der ersten Kontrolluntersuchung postoperativ (t1) konnten die Patienten im Durchschnitt $106,87^\circ \pm 14,93$ flektieren und $0^\circ \pm 0$ extendieren. Die 7 Patienten, die zur 3-Monatskontrolle

(t2) zur Verfügung standen, konnten ihr Knie durchschnittlich $112,85^\circ \pm 7,55$ beugen bei einer Extension von $0^\circ \pm 0$.

Sechs Wochen postoperativ (t1) konnten klinisch gerötete Narbenverhältnisse und eine leichte Schwellung des Kniegelenkes, ohne Hinweis auf eine lokale Infektion, bei 9 der 16 nachuntersuchten Patienten nachgewiesen werden.

Bei 16 Patienten (47,05%) konnte präoperativ (t0) ein retropatellarer Druckschmerz ausgelöst werden. In der klinischen Kontrolluntersuchung zum Untersuchungszeitpunkt t1 war ein retropatellarer Druckschmerz bei drei (18,75%) von 16 nachuntersuchten Patienten auslösbar. Bei der 3-Monatskontrolle (t2) war ein Druckschmerz bei einem von sieben Patienten auslösbar.

Präoperativ (t0) gaben 21 (61,76%) von 34 Patienten einen Druckschmerz im medialen Gelenkspalt und sechs (17,64%) Patienten im lateralen Gelenkspalt an.

Sechs Wochen (t1) nach der Versorgung mit einer Kniegelenksendoprothese zeigten sich noch Schmerzen im medialen Gelenkspalt bei vier (25%) von 16 Patienten. Davon hatten drei der Patienten diesen schon präoperativ, nur bei einem der Patienten trat der Schmerz nach der Operation neu auf. Bei zwei (12,5%) Patienten bestand sowohl prä- als auch sechs-Wochen postoperativ Schmerzen im lateralen Gelenkspalt.

5.3 Hospital for Special Surgery Score (HSS) nach Ranawat und Shine

Alle Probanden der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30) erreichten die volle Punktzahl (100 ± 0 Punkte). Im Vergleich hierzu erzielten Gonarthrosepatienten zum Versuchszeitpunkt t0 signifikant schlechtere Punktwerte ($61,14 \pm 9,02$) ($p=0,001$).

Interessanterweise konnte ein marginal signifikanter Zusammenhang ($r=-,22$) zwischen dem HSS Score und der Bremsreaktionszeit Break 80 bei der Berechnung des Korrelationskoeffizient nach Pearson festgestellt werden ($p=0,06$). Je höher der ermittelte HSS Score der Probanden war, desto kürzer war deren Break80 Bremsreaktionszeit.

6 Wochen postoperativ verbesserte sich der HSS Score der Patienten nach Kniealloarthroplastik um 12 Punkte von einem Mittelwert von 61 ± 9 auf $73 \pm 14,58$ Punkte. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied ($p=0,006$) zwischen den erreichten Punktwerten prä- und 6 Wochen postoperativ. Zum zweiten postoperativen Untersuchungszeitpunkt (t2) konnten keine validen Ergebnisse auf Grund der geringen Probandenzahl erhoben werden. (Tab. 1)

| | Gesund (con; n=30) | Gonarthrose (gon (t0); n=34) | Gonarthrose (gon (t1); n=16) |
|--------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| BRT Brake80 | 1568 ms \pm 436 ms | 1913 ms \pm 413 ms | 1913 ms \pm 413 ms |
| HSS-Score | 100 \pm 0 | 61** \pm 9 | 73°° \pm 14,58 |
| p-Wert | | .001 | .006 |

Tab. 1: Bremsreaktionszeit auf ein Vollbremsungsereignis, Hospital for Special Surgery Score (HSS) Mittelwert, Standardabweichung - für die gesunde Vergleichsgruppe (con), sowie für die Gruppe der Gonarthrosepatienten (gon) präoperativ und im postoperativen Verlauf nach sechs Wochen. * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con; °means $p < 0,05$ vs Gon, °°means $p < 0,01$ vs Gon

5.4 Visuelle Analogskalen für Schmerz, Funktion und Zufriedenheit im Alltag

Bei der Auswertung der Visuellen Analogskala für die drei erhobenen Dimensionen Schmerz, Funktion und Zufriedenheit im Alltag zum Messzeitpunkt t0 unterschied sich die gesunde Kontrollgruppe (con; n=30) von der Gruppe der Gonarthrosepatienten (gon (t0); n=37) in allen drei Dimensionen hoch signifikant ($p < 0,001$). So gaben Arthrosepatienten signifikant mehr Schmerzen ($p < 0,001$), und eine signifikant schlechtere Funktion ($p < 0,001$) ihres rechten Kniegelenkes im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe an. Auch die Zufriedenheit im Alltag mit dem rechten Kniegelenk wurde von den Patienten deutlich schlechter als von den gesunden Probanden bewertet ($p < 0,001$). (Tab. 2.1)

| | Schmerzen im Alltag | Funktion im Alltag | Zufriedenheit im Alltag |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Gon (t0) | 5,65** \pm 2,15 | 4,54** \pm 1,85 | 3,03** \pm 2,37 |
| Con | 1,07 \pm 0,25 | 9,63 \pm 0,76 | 9,77 \pm 0,63 |
| p-Wert | ,001 | ,001 | ,001 |

Tab. 2.1: Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Kniegelenk im Alltag. Vergleich der Messergebnisse zum Untersuchungszeitpunkt t0 (gon; n=37) mit dem Messergebnis der gesunden Kontrollgruppe (con; n= 30). Mittelwert, Standardabweichung. * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con; °means $p < 0,05$ vs Gon, °°means $p < 0,01$ vs Gon.

Die Auswertung der Messergebnisse zum Zeitpunkt t1 zeigte eine hoch signifikante Reduktion um -2,0 Punkte ($p = 0,001$) im Vergleich zu den präoperativ (t0) erhobenen Messungen für die Dimension Schmerzen im rechten Kniegelenk. Auch konnte 6 Wochen postoperativ (t1) eine hoch signifikante Funktionsverbesserung im rechten Kniegelenk im Vergleich zum präoperativen Ausgangswert (t0) erreicht werden ($p = 0,001$) Bezüglich der Zufriedenheit konnte eine deutliche Verbesserung mit einer hoch signifikanten Steigerung um +5 Punkte beobachtet werden ($p = 0,001$). (Tab. 2.2)

| | Schmerzen im Alltag | Funktion im Alltag | Zufriedenheit im Alltag |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Gon (t0) | 5,65 ± 2,15 | 4,54 ± 1,85 | 3,03 ± 2,37 |
| Gon (t1) | 3,63°° ± 2,28 | 7,81°° ± 1,64 | 8,06°° ± 1,65 |
| p-Wert | ,001 | ,001 | ,001 |

Tab. 2.2: Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Kniegelenk im Alltag. Vergleich der Messergebnisse zum Untersuchungszeitpunkt t0 (gon; n=37) mit dem Messergebnissen zum Untersuchungszeitpunkt t1 (gon; n=16). Mittelwert, Standardabweichung. * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con; °means $p < 0,05$ vs Gon, °°means $p < 0,01$ vs Gon.

Bei der 3 Monatskontrolle (t2) zeigte sich keine signifikante Verbesserung im Vergleich zur Messung zum Testzeitpunkt t1. (Tab. 2.3)

| | Schmerzen im Alltag | Funktion im Alltag | Zufriedenheit im Alltag |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Gon (t1) | 3,63 SD 2,28 | 7,81 SD 1,64 | 8,06 SD 1,65 |
| Gon (t2) | 1,57 SD 0,78 | 9,14 SD 1,06 | 9,57 SD 0,78 |
| p-Wert | ,056 | ,30 | ,35 |

Tab. 2.3: Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Kniegelenk im Alltag. Vergleich der Messergebnisse zum Untersuchungszeitpunkt t1 (gon; n=16) mit dem Messergebnissen zum Untersuchungszeitpunkt t2 (gon; n=7). Mittelwert, Standardabweichung. * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con; °means $p < 0,05$ vs Gon, °°means $p < 0,01$ vs Gon.

5.5 Visuelle Analogskalen für Schmerz, Funktion und Zufriedenheit während der Simulationsfahrt

Bei der Auswertung der visuellen Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit während der Simulationsfahrt gaben Patienten, die an einer rechtsseitigen Gonarthrose litten, zum Untersuchungszeitpunkt t0 an, hoch signifikant mehr Schmerzen während der Simulationsfahrt als die gesunden Probanden ($p=0,000$) gehabt zu haben. Auch die Funktion ihres rechten Kniegelenkes während der Autofahrt empfanden die Gonarthrosepatienten deutlich schlechter als die gesunden Probanden ($p=0,001$). In der Befragung der Zufriedenheit gaben die Gonarthrosepatienten im Mittel einen Punktwert von $7,29 \pm 2,97$, wohingegen die Kontrollgruppe sich mit einem Wert von $9,83 \pm 0,46$ hoch signifikant zufriedener mit ihrem Kniegelenk zeigte ($p=0,000$). (Tab. 3.1)

| | Schmerzen während der Simulationsfahrt | Funktion während der Simulationsfahrt | Zufriedenheit während der Simulationsfahrt |
|-----------------|--|---------------------------------------|--|
| Gon (t0) | 3,24** ± 2,30 | 8,11** ± 2,23 | 7,29** ± 2,97 |
| Con | 1,03 ± 0,18 | 9,77 ± 0,63 | 9,83 ± 0,46 |
| p-Wert | ,000 | ,001 | ,000 |

Tab. 3.1: Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Kniegelenk während der Simulationsfahrt. Vergleich der Messergebnisse zum Untersuchungszeitpunkt t0 (gon; n=37) mit dem Messergebnissen der gesunden Kontrollgruppe (con; n= 30). Mittelwert, Standardabweichung. * means $p<0,05$ vs Con; **means $p<0,01$ vs Con; °means $p<0,05$ vs Gon, °°means $p<0,01$ vs Gon.

Bei der Analyse der Messungen zum Testzeitpunkt t1 im Vergleich zu den Messungen zum Testzeitpunkt t0 konnten wir feststellen, dass Probanden sechs Wochen nach endoprothetischer Versorgung des rechten Kniegelenkes signifikant weniger Schmerzen während der Simulationsfahrt als präoperativ ($p<0,05$) angaben. Auch zeigten sie sich signifikant zufriedener mit ihrem rechten Kniegelenk während des Autofahrens im Vergleich zur präoperativen Testfahrt (t0) ($p<0,05$).

Hinsichtlich der subjektiv empfundenen Funktionstüchtigkeit des rechten Kniegelenkes konnten wir keinen signifikanten Unterschied bei den Arthrosepatienten zu den Untersuchungszeitpunkten t0 und t1 beobachten ($p=0,338$). (Tab. 3.2)

| | Schmerzen während der Simulationsfahrt | Funktion während der Simulationsfahrt | Zufriedenheit während der Simulationsfahrt |
|-----------------|--|---------------------------------------|--|
| Gon (t0) | 3,24 ± 2,30 | 8,11 ± 2,23 | 7,30 ± 2,97 |
| Gon (t1) | 1,88° ± 1,50 | 9,06 ± 1,69 | 9,00° ± 1,63 |
| p-Wert | ,05 | ,338 | ,05 |

Tab. 3.2: Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Kniegelenk während der Simulationsfahrt. Vergleich der Messergebnisse zum Untersuchungszeitpunkt t0 (gon; n=37) mit dem Messergebnissen zum Untersuchungszeitpunkt t1 (gon; n=16). Mittelwert, Standardabweichung. * means $p<0,05$ vs Con; **means $p<0,01$ vs Con; °means $p<0,05$ vs Gon, °°means $p<0,01$ vs Gon.

3 Monate postoperativ (t2) zeigten die Messungen keine signifikante Besserung bezüglich der Dimensionen Schmerz, Funktion und Zufriedenheit des rechten Kniegelenks verglichen zum ersten Beobachtungszeitpunkt 6 Wochen postoperativ (t1). Interessanterweise konnten

die Probanden nach endoprothetischem Kniegelenkserersatz zu diesem Zeitpunkt analoge Werte wie gesunden Probanden erreichen. (Tab. 3.3)

| | Schmerzen während der Simulationsfahrt | Funktion während der Simulationsfahrt | Zufriedenheit während der Simulationsfahrt |
|-----------------|---|--|---|
| Gon (t1) | 1,88 ± 1,50 | 9,06 ± 1,69 | 9,00 ± 1,63 |
| Gon (t2) | 1,00 ± 0,0 | 10,0 ± 0,0 | 10,0 ± 0,0 |
| p-Wert | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Tab. 3.3: Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Kniegelenk während der Simulationsfahrt. Vergleich der Messergebnisse zum Untersuchungszeitpunkt t1 (gon; n=16) mit dem Messergebnissen zum Untersuchungszeitpunkt t2 (gon; n=7). Mittelwert, Standardabweichung. * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con; °means $p < 0,05$ vs Gon, °°means $p < 0,01$ vs Gon.

5.6 Driver Activity Load Index (DALI)

Bei der Auswertung der Messdaten zeigte sich zu keinem Messzeitpunkt ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) sowohl zwischen der Gruppe der Gonarthrosepatienten zu der Kontrollgruppe, als auch innerhalb der Gonarthrosepatienten zum Zeitpunkt t0 und t1. So sahen sich Patienten mit einer rechtsseitigen Gonarthrose präoperativ und 6 Wochen postoperativ durch die Fahraufgabe subjektiv nicht mehr belastet als die gesunde Kontrollgruppe. (Tab. 4)

| DALI Variable | Con (n=30) | Gon (n=37) t0 | Gon (n=16) t1 |
|----------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| Globale Aufmerksamkeit | 3,83 ± 1,68 | 4,49 ± 1,63 | 4,06 ± 2,02 |
| Visuelle Aufmerksamkeit | 2,93 ± 1,82 | 3,16 ± 2,13 | 2,38 ± 1,59 |
| Auditive Aufmerksamkeit | 1,87 ± 1,20 | 1,65 ± 1,16 | 1,44 ± 0,96 |
| Motorische Aufmerksamkeit | 2,07 ± 1,36 | 2,22 ± 1,62 | 1,63 ± 1,02 |
| Stress | 2,03 ± 1,40 | 2,35 ± 1,83 | 1,31 ± 1,01 |
| Zeitliche Anforderung | 1,70 ± 1,21 | 2,14 ± 1,44 | 1,38 ± 0,72 |
| Interferenz | 2,77 ± 1,68 | 2,73 ± 1,68 | 1,88 ± 0,96 |

Tab. 4: Driver Activity Load Index (DALI) für die gesunde Kontrollgruppe und die Gonarthrosegruppe zum präoperativen Zeitpunkt (t0) und sechs Wochen nach endoprothetischer Versorgung des rechten Kniegelenkes (t1). Mittelwert; Standardabweichung. * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con; °means $p < 0,05$ vs Gon, °°means $p < 0,01$ vs Gon.

5.7 Abschlussfragebogen

Bei der Analyse der Messdaten zum Untersuchungszeitpunkt t0 unterschieden sich die beiden Gruppen in der Frage zur Schmerzangabe/Beschwerden im rechten Kniegelenk während der Simulationsfahrt. So stimmten die Gonarthrosepatienten signifikant häufiger der Aussage zu, Schmerzen oder Beschwerden im rechten Kniegelenk während der Fahrten gehabt zu haben als die gesunde Kontrollgruppe ($p < 0,002$) (Anlage 9, Frage 11).

Bei der Betrachtung des Fahrverhaltens gaben die Gonarthrosepatienten zum Zeitpunkt t1 an, an signifikant weniger Tagen in den letzten drei Monaten Auto gefahren zu sein im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe ($p < 0,000$) (Anlage 9, Frage 14).

5.8 Visuelle Analogskala zur subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit (EuroQol-VAS)

Mit Hilfe der visuellen Analogskala ordneten die Probanden zum Zeitpunkt t0 und t1 ihre persönliche Einschätzung bezüglich ihrer Fahrtüchtigkeit auf einer Skala einem Wert zwischen 0 „nicht fahrtüchtig“ und 100 „voll fahrtüchtig“ zu.

Für die Auswertung wurde eine univariate Varianzanalyse mit dem Post-hoc Test (Bonferroni) angewendet. Beim Vergleich der gesunden Kontrollgruppe mit der Gruppe der Gonarthrosepatienten zum Zeitpunkt t0 zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($p = 0,124$). So schätzten die Patienten ihre Fahrtüchtigkeit im Mittel mit einem Punktwert von $88,62 \pm 2,33$ zum Zeitpunkt t0 fast genauso gut wie die gesunde Kontrollgruppe mit $94,47 \pm 2,59$ ein.

Auch sechs Wochen postoperativ zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ($p = 0,495$) im Vergleich mit den präoperativen Daten der Gonarthrosepatienten zur subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit.

Die Patienten schätzten ihre Fahrtüchtigkeit sechs Wochen nach endoprothetischem Gelenkersatz im Mittel bei $90,94 \pm 3,55$ von 100 möglichen Punkten ein. Bei der 3-Monatskontrolle schätzten sich alle Probanden zu $100\% \pm 0$ fahrtüchtig ein. (Tab. 5)

| Con (n=30) | Gon (n=37) t0 | Gon (n=16) t1 | Gon (n=7) t2 |
|--------------|------------------|------------------|-----------------|
| 94,47 ± 2,59 | 88,62 ± 2,33 | 90,94 ± 3,55 | 100 ± 0,0 |

Tab. 5: Visuelle Analogskala zur subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit (EuroQol-VAS) der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30), der Gonarthrosegruppe präoperativ (t0), sowie sechs Woche (t1) und 3 Monate (t2) nach endoprothetischem Gelenkersatz des rechten Kniegelenkes. Mittelwert; Standardabweichung. * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con; °means $p < 0,05$ vs Gon, °°means $p < 0,01$ vs Gon.

5.9 Analgetikaeinnahme

In der Gruppe der arthrosekranken Patienten gaben präoperativ (t0) 20 von 37 Patienten an, auf Grund von Schmerzen im rechten Kniegelenk regelmäßig auf die Einnahme von Analgetika angewiesen zu sein. Von den 54% der Patienten, die Schmerzmittel einnahmen, konsumierten 16 Patienten regelmäßig nicht steroidale Antirheumatika (NSAR) und zwei Patienten Metamizol. Auf die Einnahme von Opioid-Analgetika waren zwei Patienten angewiesen (Abb. 11.1)

Sechs Wochen postoperativ (t1) waren noch insgesamt 69% der Patienten auf die regelmäßig Einnahme von Analgetika angewiesen. (Abb. 11.2) Zum zweiten Beobachtungszeitpunkt (t2) waren noch 4 (57%) von den 7 zur Verfügung stehenden Patienten auf die regelmäßige Einnahme von NSAR angewiesen. (Abb. 11.3)

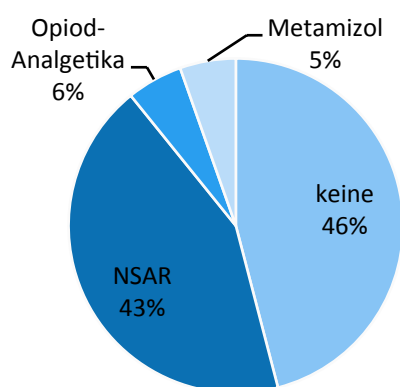


Abb. 11.1: Analgetika-Einnahme der Gonarthrosepatienten (gon; n=37) präoperativ (t0)

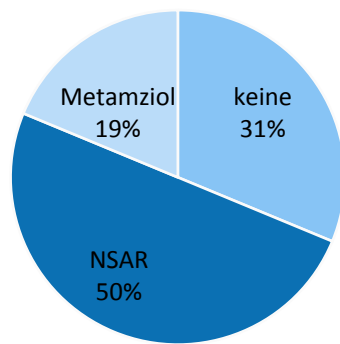


Abb. 11.2: Analgetika-Einnahme der Gonarthrosepatienten (gon; n=16) 6 Wochen postoperativ (t1)

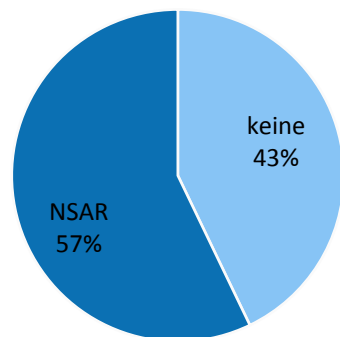


Abb. 11.3: Analgetika-Einnahme der Gonarthrosepatienten (gon; n=7) 3 Monate postoperativ (t2)

5.10 Röntgen

Bei der Analyse der präoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen konnten wir bei insgesamt vier Patienten radiologische Zeichen einer Gonarthrose im Stadium I nach Kellgren und Lawrence diagnostizieren. Sieben Patienten erfüllten die Kriterien für ein Arthrosestadium Grad II und insgesamt 15 Patienten ein Gonarthrorestadium III. (Tab. 6)

Die Korrelation nach Spearman zeigte keinen signifikanten Zusammenhang ($p > 0,05$) zwischen dem nativradiologischen Schweregrad der Arthrose und der präoperativ erreichten Bremsreaktionszeiten der Probanden im Rahmen eines Vollbremsungsereignis.

| Kellgren und Lawrence Stadium | BRT Break80 |
|-------------------------------|------------------|
| I (n=4) | 1411 ms ± 710,03 |
| II (n=7) | 1960 ms ± 363,14 |
| III (n=15) | 1921 ms ± 382,25 |

Tab. 6: Bremsreaktionszeit Break80 auf ein Vollbremsereignis zum Zeitpunkt t0 in Abhängigkeit vom Kellgren- und Lawrence Stadium der Gonarthrosepatienten (Gon0; n=26). Mittelwert; Standardabweichung. * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con; °means $p < 0,05$ vs Gon, °°means $p < 0,01$ vs Gon.

6 Diskussion

6.1 Modell der Studie

6.1.1 Studiendesign

Ziel unserer Studie war es, einen möglichst realen Bedingungen gleichenden Versuchsaufbau zu gewährleisten.

In unserem Simulator wurde die neueste Technologie verwendet. Diese vermittelte dem Probanden das Gefühl, ein tatsächlicher Teil der simulierten Welt zu sein, wodurch valide Rückschlüsse auf das Fahrverhalten im echten Straßenverkehr gezogen werden konnten.

Vorangehende Studien verwendeten dahingegen einen sehr vereinfachten und teils veralteten Versuchsaufbau (MacDonald & Owen, 1988) (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Hofmann et al., 2014) (Huang et al., 2014) (Jordan et al., 2015) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016).

1988 untersuchten MacDonald und Owen die Auswirkungen eines endoprothetischen Gelenkersatzes der Hüfte auf ein Notbremsereignis. Der Versuchsaufbau bestand aus einem einfachen Sessel sowie einem auf dem Boden angebrachten Brems- und Gaspedal und einem vor dem Probanden angebrachten Monitor, auf welchem ein Lichtsignal als Bremsaufforderung erscheint (MacDonald & Owen, 1988). (Abb. 12) In dieser Studie sehen wir einen Nachteil gegenüber unserer Versuchsreihe durch die nur wenig realitätsgetreue Umgebung und der Luxationsgefahr der Hüfte durch das Sitzen im hier verwendeten tiefen Sessel.

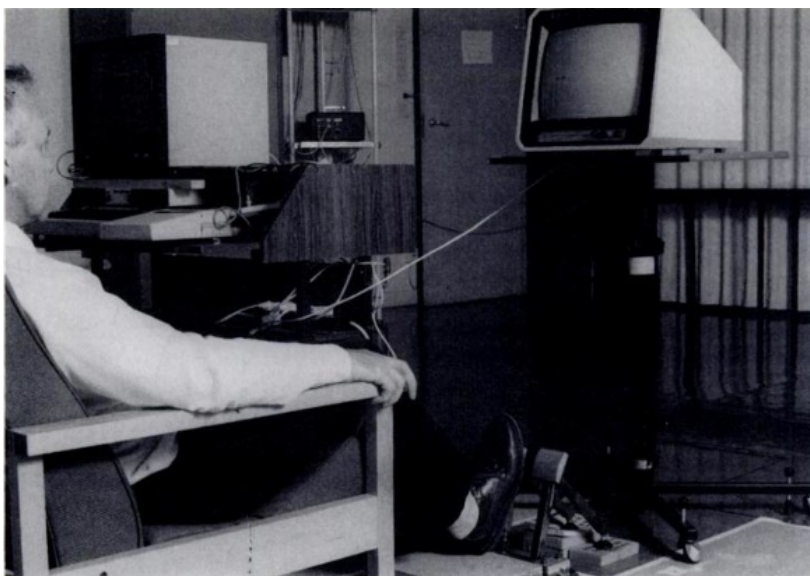


Abb. 12: Fahrsimulator von MacDonald & Owen (MacDonald & Owen, 1988)

Die Bremsreaktionszeit nach endoprothetischem Gelenkersatz des rechten Kniegelenkes wurde erstmals von Spalding et al. 1994 untersucht. Der Versuchsaufbau bestand in einem ausgebauten Autositz sowie einem Lenkrad. (Abb. 13) Die Probanden wurden aufgefordert, auf ein rotes Lichtsignal auf einem Bildschirm vor ihnen mit dem Durchdrücken des Bremspedales zu reagieren (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994). Hier wurde zwar erstmals ein echter Autositz und ein Lenkrad verwendet, die Versuchsumgebung ist aber auch in dieser Studie nicht realitätsnah. Auch die Verwendung eines einfachen PC-Monitors statt einer 3D Dimension kann dem Probanden kein reelles Fahrgefühl vermitteln.

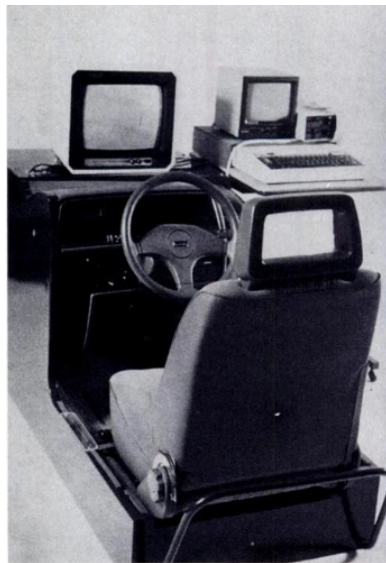


Abb. 13: Fahrsimulator von Spalding et al. (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994)

In der Studie von Pierson et al. wurden die Probanden 2003 auf einem herkömmlichen Bürostuhl platziert und gebeten, auf eine vor ihnen angebrachte grüne Lampe mit Betätigung des Gaspedales und auf eine rote Lampe mit der Betätigung des Bremspedales zu reagieren (Pierson, Earles & Wood, 2003). (Abb. 14)



Abb. 14: Fahr Simulator von Pierson et al. (Pierson, Earles & Wood, 2003)

Der hier verwendete Bürostuhl kann auf Grund der Rollen dem Probanden keinen festen Halt wie ein echter Autositz bieten. Auch ist hier, wie in den oben genannten Studien (MacDonald & Owen, 1988) (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994), keine realitätsgetreue Versuchsumgebung geschaffen worden.

Der Versuchsaufbau von Liebensteiner et al. bestand in einem herkömmlichen Autositz sowie einem Gas- und Bremspedal. Ein Koffer mit einer grünen und roten Signallampe wurde in einem fest definierten Abstand vor dem Probanden angebracht (Liebensteiner et al., 2010). (Abb. 15)

Zwar konnten hier durch den Autositz sowie das Gas- und Bremspedal eine realitätsnahe Körperposition des Probanden sichergestellt werden, jedoch durch die fehlende umgebende Karosserie und Leinwand im Gegensatz zu unserem Versuchsaufbau bei den Probanden kein ausreichend reales Fahrgefühl entstehen.



Abb. 15: Fahr Simulator von Liebensteiner et al. (Liebensteiner et al, 2010)

Dalury et al. publizierten 2010 erstmals eine Studie mit einem visuellen Fahrsimulationsaufbau für Patienten vor und nach rechtsseitigem Kniegelenkersatz. Der Versuchsaufbau bestand jedoch auch in dieser Untersuchung aus einem einfachen Bürostuhl sowie einem Gas- und Bremspedal auf dem Boden, einem Lenkrad und einem Computerbildschirm vor dem Probanden. Der Proband wurde gebeten, auf ein rotes Signal im rechten Bildschirmrand neben der Straße mit einer Bremsreaktion zu reagieren (Dalury, Tucker & Kelley, 2011). (Abb. 16)

Auf Grund der zweidimensionalen Darstellung auf dem Computerbildschirm, sowie dem Sitzen auf einem Bürostuhl konnten auch in diesem Versuchsaufbau keine realitätsnahen Bedingungen gewährleistet werden.



Abb. 16: Fahrsimulator von Dalury et al. (Dalury, Tucker & Kelley, 2011)

Der Versuchsaufbau von Huang et al. 2014 bestand in einem Autositz, einem Lenkrad, einem Gas- und Bremspedal, sowie einem Farbbildschirm, auf dem eine normale Fahrsituation gezeigt wurde. Das Bremssignal bestand in einem auf dem Bildschirm erscheinenden Fußgänger, der sich von rechts in die Mitte des Bildschirms bewegt (Huang et al., 2014).

Dieser Versuchsaufbau konnte zum damaligen Zeitpunkt, verglichen mit früheren Studien (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011), am ehesten eine reelle Fahrsituation für den Probanden schaffen. Allerdings befand sich der Proband auch hier nicht in einer echten Fahrerkabine und eine dreidimensionale Darstellung konnte nicht gewährleistet werden.

Der Versuchsaufbau von Jordan et al. 2015 kommt dem Sitzen und Fahren in einem echten Auto im Vergleich zu den vorgenannten Studien der realen Situation am nächsten. Die Probanden saßen in einer echten Fahrerkabine. Das Signal zur Vollbremsung wurde aber hier wieder nur durch eine vor der Windschutzscheibe platzierte Lichtquelle gegeben (Jordan et al, 2015). (Abb. 17)

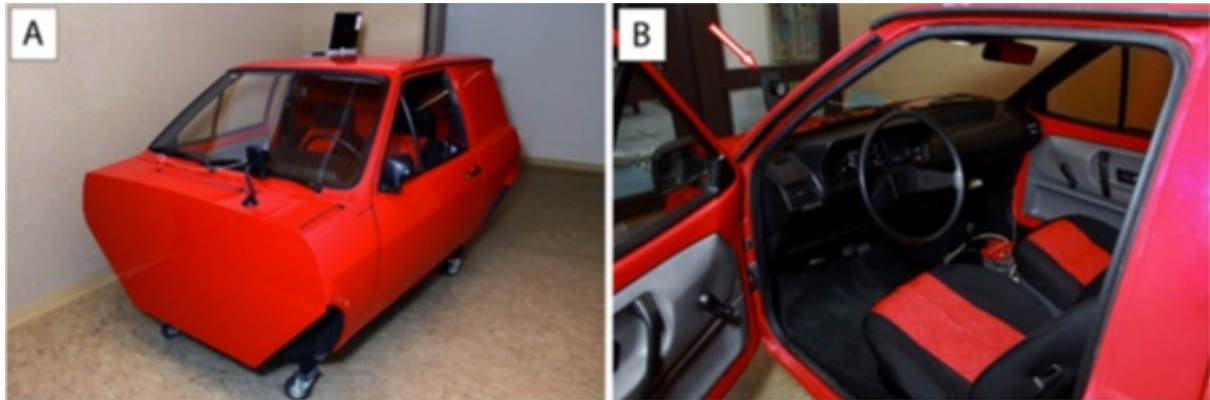


Abb. 17: Fahrsimulator von Jordan et al. Der weiße Pfeil zeigt auf das als Bremsreiz fungierende LED-Licht. (Jordan et al, 2015)

Auch in neuester Zeit beschäftigten sich Autoren mit der Frage, ab wann Patienten nach rechtsseitiger Kniealloarthroplastik wieder Auto fahren können. So untersuchten Hernandez et al im Jahr 2016 die Bremsreaktionszeiten von Probanden nach rechtseitiger Kniealloarthroplastik. Der Versuchsaufbau war auch in dieser Studie rudimentär und nur wenig realitätsgetreu. So wurde die Fahrtüchtigkeit der Probanden auf einem herkömmlichen Bürostuhl vor einem Schreibtisch untersucht. Das Bremssignal wurde den Probanden im Form eines roten Signallichtes angezeigt (Hernandez, Ong & Orozco, 2016). (Abb. 18)



Abb. 18: Fahrsimulator von Hernandez et al. (Hernandez, Ong & Orozco, 2016)

In der hier vorgestellten Studie wurde den Versuchspersonen durch einen echten PKW und mit Hilfe einer Zylinderprojektion eine realitätsgetreue Darstellung vermittelt, welche ein realistisches Fahrgefühl widerspiegelt und so zu einer hohen Nutzerakzeptanz führt. Der Versuchsaufbau hat sich bereits bei der Analyse der Bremsreaktionszeiten von Coxarthrosepatienten bestens bewährt (Bernhardi, 2018). Im Gegensatz zu vorangehenden Studien (MacDonald & Owen, 1988) (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Hofmann et al., 2014) (Huang et al., 2014) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016) verwendeten wir keine Büro- oder Sofamöbel, sowie ausgebaute Autositze, sondern ein komplettes Fahrzeug, wie es die Probanden auch im echten Straßenverkehr im Alltag nutzen. Zusammen mit dem Forschungszentrum für künstliche Intelligenz (DFKI) wurde ein Fahrzeug der Daimler-AG der Marke Smart für unsere Fragestellungen modifiziert.

In einer Studie von Green et al. konnte gezeigt werden, dass Autofahrer für eine Bremsreaktion auf eine in Lokalisation bekannte und zeitlich erwartete Lichtquelle 0,7-0,75 Sekunden benötigen. Erscheint eine bekannte Lichtquelle wie z.B. die Rücklichter eines Autos jedoch unerwartet, benötigten die Probanden durchschnittlich 1,25 Sekunden für das Betätigen der Bremse (Green, 2010).

Daher verwendeten wir im Gegensatz zu einem einfachen Lichtsignal zur Bremsreaktionsaufforderung eine moderne Simulationssoftware (OpenDS). Hiermit konnten wir gewährleisten, dass Einflüsse, die im Verkehrsalldag auftreten und mögliche Ablenkungen des Fahrers bewirken, auch im Rahmen der Simulation stattfinden. Die Fahrbahn wurde durch eine nahtlose Zylinderprojektion auf eine gewölbte Leinwand mit dreidimensionaler Darstellung projiziert. Der Proband musste durch Betätigung des Lenkrades sowie des Gas- und Bremspedales das Auto auf einer geraden Fahrbahn in einem Autokonvoi halten. Zudem mussten unsere Probanden eine vorgegebene Geschwindigkeit einhalten, auf ein vorausfahrendes Fahrzeug und dessen Bremsmanöver achten sowie auf ein im Rückspiegel erscheinendes Fahrzeug, welches zum Überholvorgang ansetzt.

Durch diese komplexen Aufgaben und Sinnesreize ist es uns in unserem Versuchsaufbau gelungen, ein in vorherigen Studien nicht erreichtes, reelles Fahrerlebnis zu vermitteln.

Im Rahmen der postoperativen Rehabilitation können bereits die alltäglichen Dinge wie das Einsteigen in einen PKW und Einstellen der richtigen Fahrposition für den Probanden eine Herausforderung darstellen. Diese Bewegungsmuster wurden in früheren Studien mit Verwendung von Büro- oder Sofamöbeln in nur unzureichendem Maße berücksichtigt (MacDonald & Owen, 1988) (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Hofmann et al., 2014) (Huang et al., 2014) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016).

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal unseres Studiendesigns im Vergleich zu früheren Studien (MacDonald & Owen, 1988) (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Hofmann et al., 2014) ist die Erhebung der psychischen Belastung des Fahrers während des Autofahrens mit Hilfe des von Pauzie et al. entwickelten „driving activity load index“ (DALI) (Pauzie, 2008).

Durch Verwendung dieses Fragebogens konnten wir ausschließen, dass die Unterschiede in den Reaktionszeiten der einzelnen Probandengruppen durch eine unterschiedliche Belastung der Teilnehmer bedingt ist. Die Auswertung des „driving activity load index“ zeigte zum Testzeitpunkt t0 keinen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der Arthrosepatienten. Auch in der 6-Wochenkontrolle empfanden die Patienten ihre subjektive Anforderungsbelastung nicht höher als präoperativ.

Unterschiede in den Reaktionszeiten der einzelnen Testgruppen scheinen folglich nach unserer Evaluierung nicht auf eine unterschiedliche Beanspruchung während der Fahraufgabe, sondern auf Bewegungs- und Krafteinschränkungen des rechten Kniegelenkes zurückzuführen zu sein.

6.1.2 Studienprotokoll

In der hier vorgestellten Studie wurde das Fahrverhalten der Gonarthrosepatienten präoperativ (t0), 6 Wochen (t1) und 3 Monate (t2) nach der Operation untersucht.

In vorherigen Studien wurden zum Teil deutlich früher postoperative Simulationsfahrten durchgeführt. So wurden die Patienten bei Hernandez et al., Huang et al., Liebensteiner et al., bereits nach 2 Wochen zu einer Kontrollfahrt einbestellt, bei Jordan et al. und Marques et al. sogar bereits nach 8 bzw. 10 Tagen (Liebensteiner et al., 2010) (Jordan et al., 2015). (Huang et al., 2014) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016) (Marques et al., 2008). Bei solchen frühen Versuchszeitpunkten stellt sich die Frage, ob diese der Realität entsprechen. Den Patientenwunsch 8-10 Tage postoperativ bereits wieder ein KFZ zu führen, können wir nach unserer klinischen Erfahrung nicht bestätigen. Bei Hernandez et al. erreichten 80% der Probanden ihren präoperativen Ausgangswert nach zwei Wochen (Hernandez, Ong & Orozco, 2016). In Anbetracht des realitätsfernen Versuchsaufbaus stellt sich hier abermals die Frage, inwieweit die Versuchsergebnisse auf reale Verkehrsverhältnisse schließen lassen dürfen. Bei Jordan et al. konnten die Probanden 8 Tage postoperativ ihre präoperativen Ausgangswerte nicht erreichen. Die Bremsreaktionszeit nahm sogar zum ersten Untersuchungszeitpunkt postoperativ um 30% zu (Jordan et al., 2015). Die Ergebnisse dieser Studie stützen unsere Annahme, dass eine zu frühe Wiederteilnahme am Straßenverkehr ärztlicherseits nicht befürwortet werden kann.

Dalury et al. und Spalding et al. untersuchten 4 Wochen postoperativ und Pierson et al. drei Wochen nach Knieprothesenimplantation die Fahrtüchtigkeit, indem sie die Bremsreaktionszeiten analysierten (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011). Zwar sind Kontrollfahrten 3 und 4 Wochen postoperativ deutlich realitätsnaher als beispielsweise die Versuchszeitpunkte von Jordan et al. (Jordan et al., 2015), allerdings gehen die Autoren bedingt durch den vereinfachten Versuchsaufbau zum Beispiel nur unzureichend auf die möglichen Schwierigkeiten des Einsteigens in ein Auto ein.

In unserer Arbeit analysierten wir das Fahrverhalten der Probanden 6 Wochen und 3 Monate postoperativ. Diese Untersuchungszeitpunkte erarbeiteten wir mit den Patienten selbst und aufgrund der klinischen Erfahrung. 6 Wochen postoperativ ist die Rehabilitation abgeschlossen und die muskuläre Kontrolle der operierten Extremität weitgehend wiederhergestellt. 3 Monate postoperativ hat ein Großteil der Patienten in der Ambulanz angegeben, wieder aktiv am Straßenverkehr teilzunehmen. Wir erachten die in unserer Studie gewählten Untersuchungszeitpunkte als realitätsnah und aussagekräftig. Bereits in der Studie von Bernhardt et al. haben sich diese gewählten Untersuchungszeitpunkte bewährt (Bernhardt, 2018).

6.1.3 Probanden

In die Studie wurden insgesamt 67 Probanden eingeschlossen. Unsere Untersuchungsgruppe bestand aus 37 Patienten, die an einer rechtsseitigen Gonarthrose erkrankt waren und sich im Verlauf einer endoprothetischen Operation unterzogen sowie 30 Kontrollpersonen. Das Durchschnittsalter der Gonarthrosepatienten betrug $65.91 \pm 8,64$ Jahre. Es ist bekannt, dass ab dem 60. Lebensjahr das Risiko, an Gelenkdegenerationen zu erkranken, deutlich zunimmt. So zeigte eine Studie von Lawrence et al., dass etwa 37% der über 60 jährigen radiologische Zeichen einer Kniegelenksarthrose aufweisen (Lawrence et al., 2008). Gleichzeitig waren im Jahr 2002 35% der Autofahrer 60 Jahre oder älter (Kubitzki & Janitzek, 2009). Um valide Daten zur Beurteilung der Fahrtüchtigkeit in diesem Patientenkollektiv zu gewinnen, war es essentiell notwendig, das Alter der Probanden zu berücksichtigen. Während auch andere Autoren das Fahrverhalten der Patientenzielgruppe zwischen 60 und 70 Jahren berücksichtigten (Hernandez et al., Jordan et al, Huang et al., Dalury et al., Liebensteiner et al. , Pierson et al.), bestand das Kollektiv von der Arbeitsgruppe Spalding et al. aus Probanden mit einem Alter von durchschnittlich 74 Jahren.

Über 90 % der zwischen 1929-1934 geborenen Männer in Deutschland besitzen einen Führerschein. Dieser Prozentsatz wird von Frauen erst ab den Geburtsjahren 1959-1964 erreicht (Beckmann, Holz-Rau, Rindsfuser & Scheiner, 2005). So werden voraussichtlich ab dem Jahr 2022 die 60-65 Jährigen Frauen zu 90% im Besitz einer Fahrerlaubnis sein. Daher war bei der Probandenauswahl eine ausgeglichene Geschlechterverteilung essentiell notwendig sowohl bei der Patienten- als auch bei der Kontrollgruppe. So untersuchten wir das Fahrverhalten von insgesamt 17 Männern (45,94%) und 20 Frauen (54,05%). Dahingegen berücksichtigten ältere Studien die Geschlechterverteilung nur in unzureichendem Maße. Diverse Autoren berücksichtigten im Rahmen der Analyse der Bremsreaktionszeit prozentual deutlich mehr Frauen als Männer (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Huang et al., 2014). So untersuchten Huang et al. in einer klinischen Studie im Jahre 2014 die Fahrtüchtigkeit von 4 Männern (28,57%) und 10 Frauen (71,42%) (Huang et al., 2014). Wiederum andere Autoren vernachlässigten die Geschlechterverteilung bei der Auswahl der Probanden komplett (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016).

Das in dieser Arbeit untersuchte Probandenkollektiv berücksichtigt sowohl in Hinblick auf das Alter wie auch die Geschlechtsverteilung ideal die Bevölkerung in Deutschland, die in höherem Alter auf die eigenständige Fortbewegung im PKW angewiesen ist. Hiervon

erhoffen wir uns valide Ergebnisse, die uns Rückschlüsse auf die Fahrtüchtigkeit dieses Patientenkollektivs in Deutschland erlauben.

6.2 Bremsreaktionszeiten

Die Analyse der Bremsreaktionszeiten war in der Vergangenheit bereits Bestandteil diverser Studien (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley 2011) (Hofmann et al., 2014) (Huang et al., 2014) (Jordan et al., 2015) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016). Eine allgemeingeltende Aussage zu verkehrssicherer Bremsreaktionszeit gibt es derzeit noch nicht. Diskutiert werden in der aktuellen Literatur Zeiten zwischen 700-1500 ms (Green, 2000). Im klinischen Alltag raten wir den Patienten erst dann zur aktiven Wiederteilnahme am Straßenverkehr, wenn die muskuläre Kontrolle der operierten Extremität vollständig wiederhergestellt ist. Um einen vollständigen Bremsvorgang durchzuführen, muss das rechte Kniegelenk beim Abheben des Fußes vom Gaspedal flektiert und anschließend kräftig auf dem Bremspedal extendiert werden. In Abhängigkeit dieses essentiell notwendigen Bewegungsablaufes wurden daher folgende Zeiten in der hier vorliegenden Arbeit erhoben: die Zeit bis zum vollständigen Abheben des Fußes vom Gaspedal (GasOff), sowie die Zeit bis zum Aufsetzen des Fußes auf dem Bremspedal (Brake0) und dem 80%-igen Betätigen der Bremse (Brake80).

6.2.1 Verlangsamungsereignis

Frühere Studien untersuchten ausschließlich ein Notbremsungsereignis nach einer rechtsseitigen endoprothetischen Kniegelenkoperation (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Hofmann et al., 2014) (Huang et al., 2014) (Jordan et al., 2015) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016). Allerdings wird ein Autofahrer im alltäglichen Stadtverkehr oder in einer Autokolonne auf einer Autobahn sehr viel häufiger mit einem kontrollierten Bremsen, Verlangsamen und Einhalten des Sicherheitsabstandes konfrontiert. In unserer Arbeitsgruppe gehen wir erstmals auf das Fahrverhalten in Hinblick auf diese Verlangsamungsereignisse bei Gonarthrosepatienten ein.

6.2.1.1 Bremsreaktionszeit von Gonarthrosepatienten auf ein Verlangsamungsereignis

In der Auswertung unserer Daten zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Bremsreaktionszeit auf ein Verlangsamungsereignis für die Gonarthrosepatienten im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe zum Untersuchungszeitpunkt t0. Die Arthrose im rechten Kniegelenk scheint das leichte Abbremsen eines Fahrzeuges nicht signifikant zu beeinträchtigen. Es ist bekannt, dass es bei einer Kniegelenksarthrose zu einer Muskelatrophie und einem Streckdefizit kommt (Gerok, 2017). Bei einem Verlangsamungsereignis wird allerdings deutlich weniger Muskelkraft benötigt und das Kniegelenk weniger extendiert als bei einem Vollbremsungsereignis. Somit könnten die oben genannten Begleiterscheinungen der Arthrose für den Bremsvorgang bei einer Verlangsamung irrelevant sein.

Der Bremsvorgang bei einem Verlangsamungsereignis verläuft zudem deutlich langsamer als bei einem Vollbremsungsereignis. Sowohl die gesunde Kontrollgruppe als auch die Gonarthrosepatienten benötigten für diesen Bremsvorgang deutlich länger als für ein Vollbremsungsereignis. Der Bremsvorgang kann koordiniert und kontrolliert ablaufen und Muskelatrophien kommen weniger zum Tragen als bei einer schnellen motorischen Reaktion auf ein Vollbremsungsereignis.

6.2.1.2 Postoperative Bremsreaktionszeit auf ein Verlangsamungsereignis

Bei der Auswertung der Bremsreaktionszeiten auf ein Verlangsamungsereignis zum Untersuchungszeitpunkt t1 nach endoprothetischem Gelenkersatz konnte keine signifikante Verbesserung oder Verschlechterung im Vergleich mit den präoperativ erhobenen Daten beobachtet werden. Allerdings konnten die Probanden ihren präoperativen Ausgangswert zu diesem Untersuchungszeitpunkt vollständig wieder erreichen. Die postoperativen Rehabilitationsmaßnahmen scheinen die durch die Operation bedingte zusätzliche Muskelatrophie zu diesem Zeitpunkt kompensiert zu haben. Die Probanden gaben zudem an, subjektiv während der Simulationsfahrt mit der Funktion des Kniegelenks ähnlich zufrieden zu sein wie präoperativ. Zu diesem Zeitpunkt scheinen durch die Operation bedingte Muskelatrophien das Fahrverhalten zwar nicht mehr negativ zu beeinflussen, allerdings konnten die Probanden nicht die Bremsreaktionszeiten der gesunden Kontrollgruppe erreichen. Womöglich ist zu diesem Zeitpunkt die postoperative Rehabilitation hinsichtlich der durch die Operation bedingten Schmerzen im rechten Kniegelenk und

Bewegungseinschränkungen noch nicht abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt waren noch 69% der Probanden auf die Einnahme von Analgetika angewiesen.

6.2.2 Vollbremsungsereignis

Um eine akute Gefahrensituation abzuwenden, ist ein Vollbremsungsereignis im alltäglichen Straßenverkehr eine seltene, aber unter Umständen lebensrettende Handlung.

6.2.2.1 Bremsreaktionszeit von Gonarthrosepatienten auf ein Vollbremsungsereignis

Bei der Erhebung unserer Daten sind wir auf die einzelnen motorischen Abschnitte des Vollbremsungsvorgangs eingegangen, um den genauen Einfluss einer Kniegelenksarthrose auf die Fahrtüchtigkeit beurteilen zu können.

In unserer Studie zeigte sich, dass alle 37 Probanden, die an einer klinisch-radiologisch gesicherten Arthrose des rechten Kniegelenkes leiden, zum Zeitpunkt t0 in den Variablen Brake0 und Brake80 signifikant höhere Reaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis als die gesunde Kontrollgruppe aufwiesen. Auch Hoffmann et al. konnten in ihrer Studie den Einfluss einer rechtsseitigen Gonarthrose auf ein Vollbremsungsereignis nachweisen. Hier wurden die Messungen vergleichbar mit unseren Reaktionszeiten eingeteilt: in Reaction Time, vergleichbar mit unserer GasOff-Zeit, Movement Time, vergleichbar mit der Brake0-Zeit, Total Break Reaction Time, vergleichbar mit der Brake80-Zeit. Patienten mit Gonarthrose benötigten in dieser Arbeit bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h einen 3,3m längeren Bremsweg bzw. 118 ms länger bei einer Vollbremsung als die gesunde Kontrollgruppe (Hofmann et al., 2014). Interessanterweise blieben aber alle Probanden von Hofmann et al. unter den von Green erprobten 700ms für eine Bremsreaktion auf eine dem Probanden im Voraus bekannte Lichtquelle (Hofmann et al., 2014) (Green, 2000). Unsere Probanden benötigten bei einer Geschwindigkeit von 90 km/h durchschnittlich 1913 ms bis zum vollständigen Betätigen der Bremse. Eine mögliche Erklärung für diese deutlich längere Reaktionszeit könnte darin liegen, dass die Reizeinflüsse in den jeweiligen Versuchsaufbauten und die Erwartungshaltung auf den Reiz unterschiedlich sind. So bedienten sich Hoffmann et al. einer feststehenden LED Lampe als Bremsreiz, die vor der Windschutzscheibe angebracht wurde. Unsere Probanden hingegen mussten auf sich bewegende Rücklichter eines vor ihnen fahrenden PKWs sowie auf ein Fahrzeug im Rückspiegel achten.

Erschien eine bekannte Lichtquelle wie z.B. die Rücklichter eines Autos unerwartet, so konnten Green et al. in ihrer Studie zeigen, dass die Probanden 1,25 Sekunden, also 0,55 Sekunden länger, für das Betätigen der Bremse als bei einer feststehenden erwarteten Lichtquelle benötigten (Green, 2000).

Liebensteiner et al. postulierten in ihrer Arbeit, dass die gesunde Kontrollgruppe, im Vergleich zur Gonarthrosegruppe, zu allen Messzeitpunkten kürzere Bremsreaktionszeiten aufwiesen. Die Autoren interpretierten die verlängerte Bremsreaktionszeit als Folge von Schmerzen und Muskelatrophien und dem damit verbundenem retardierten Bewegungsmuster des Fußes vom Gaspedal auf das Bremspedal (Liebensteiner et al., 2010). Diese Ergebnisse korrelieren in analoger Weise mit dem von uns erhobenen Datensatz zum Testzeitpunkt t0 für den Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und den präoperativen Bremsreaktionszeiten unserer Gonarthrosepatienten.

Berechnet man den Bremsweg, den unsere Patienten bei 90 km/h im Vergleich zu der gesunden Kontrollgruppe benötigten (Formel: $S_{ges} = t_1 \cdot v + t_2 \cdot v + \frac{1}{2} a \cdot t_3^2$, wobei $t_1 = \text{Brake0}$, $t_2 = \text{Brake80} - \text{Brake0}$, $t_3 = v/a = 3,00 \text{ sec}$, $a = -8,33 \text{ m/sec}^2$), so beträgt dieser für die Kontrollgruppe 76,99m und für die Gonarthrosepatienten 85,24 m. Bei einer Geschwindigkeit von 90 km/h scheinen Arthrosepatienten somit eine Bremswegverlängerung von 8,25 m zu haben, verglichen mit gleichaltrigen gesunden Autofahrern.

In Anbetracht unserer Ergebnisse kann es also sinnvoll sein, Patienten mit Gonarthrose auf die Gefahren hinzuweisen und für ein sicheres und verantwortungsbewusstes Fahren zu sensibilisieren. So könnte das Wissen über mögliche Gefahren Gonarthrosepatienten motivieren, auf öffentliche Verkehrsmittel umzusteigen. In Anbetracht der immer größer werdenden Anzahl an Autofahrern über 60 Jahre (Beckmann, Holz-Rau, Rindsfuser & Scheiner, 2005) müssen auch die Automobilhersteller auf mögliche Risiken im Straßenverkehr hingewiesen und zur Entwicklung spezieller Bremsverstärker angeregt werden.

6.2.2.2 Postoperative Bremsreaktionszeit auf ein Vollbremsungsereignis

Nachdem sich gezeigt hat, dass Patienten mit rechtsseitiger Gonarthrose signifikant längere Bremswege als die gesunde Kontrollgruppe aufzeigten, stellte sich die Frage, ob sich der Bremsweg durch einen Kniegelenkersatz verringern lässt und ab wann die Patienten wieder ihren präoperativen Ausgangswert erreichen. Wir konnten nachweisen, dass die Probanden 6 Wochen postoperativ (t1) signifikant schneller den Fuß vom Gaspedal abheben (GasOff) und auf das Bremspedal (Brake0) als präoperativ aufsetzen konnten. Bei der Analyse der Bremsreaktionszeit bis zum vollständigen Betätigen der Bremse (Brake 80) konnte jedoch

keine signifikante Verbesserung zum präoperativen Ausgangswert erhoben werden. Diese Ergebnisse könnten möglicherweise dafür sprechen, dass 6 Wochen postoperativ die muskuläre Kraft, welche unabdingbar für das kräftige Durchdrücken des Bremspedales ist, noch nicht vollständig wieder hergestellt ist. Die Probanden gaben zum Testzeitpunkt t1 an, signifikant an weniger Tagen Auto gefahren zu sein im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe. So könnte fehlende Fahrpraxis mit dem neuen Kniegelenk und Koordinationsprobleme ein Grund für die fehlende signifikante Verbesserung in der Break80 Zeit sein.

Interessanterweise zeigt sich kein signifikanter Unterschied in allen drei Messvariablen mehr beim Vergleich der gesunden Kontrollgruppe mit den sechs Wochen Ergebnissen der operierten Arthrosepatienten. So dass angenommen werden kann, dass 6 Wochen postoperativ die Bremsreaktionszeit der Patienten das gleiche Niveau wie das der gesunden Allgemeinbevölkerung erreicht hat. Dieses Ergebnis lässt in Anbetracht der Bremsreaktionszeiten der Gonarthrosepatienten zum Testzeitpunkt t0 den Schluss zu, dass Patienten mit rechtsseitigem Kniegelenkersatz besser und sicherer ein Vollbremsungsereignis durchführen können als Patienten mit konservativ behandelter Arthrose, ja sogar gleich gut wie Probanden mit gesundem Kniegelenk.

Einen Vergleich zwischen einer gesunden Kontrollgruppe und dem postoperativen Ergebnis einer Patientengruppe vollzogen in früheren Studien nur Liebensteiner et al. Seine Ergebnisse stehen hier im Widerspruch zu unseren. In seiner Studie zeigte die Patientengruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten signifikant schlechtere Bremsreaktionszeiten als die gesunde Kontrollgruppe (Liebensteiner et al., 2010). Eine mögliche Erklärung hierfür könnten die unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkte von zwei und acht Wochen postoperativ sein. Für die Bestätigung dieser Hypothese dürften allerdings nur die Messergebnisse der nach zwei Wochen durchgeführten Simulation verlängerte Bremsreaktionszeiten im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe ergeben. Um unser Ergebnis oder das von Liebensteiner et al. zu bestätigen, benötigt es weitere Studien, die einen Vergleich zwischen einer gesunden Kontrollgruppe und einer postoperativen Probandengruppe zu identischen Messzeitpunkten durchführen.

Bei der von uns vorgegebenen Geschwindigkeit von 90 km/h benötigten die Probanden sechs Wochen nach der Operation einen Bremsweg von 83,74 m, um das Auto zum vollständigen Stillstand abzubremsen. So konnte der Bremsweg postoperativ um 1,5 m verkürzt werden im Vergleich zum präoperativen Ergebnis.

Individuell betrachtet konnten sich 10 der postoperativ getesteten Patienten im Vergleich zu ihrem Ergebnis präoperativ verbessern. Hingegen zeigten sechs Patienten eine längere Bremsreaktionszeit gegenüber ihrem präoperativen Ergebnis. Sechs der zehn Patienten, die

sich verbesserten, wiesen präoperativ ein Arthrosestadium Grad III nach Kellgren&Lawrence auf. Man könnte hier die Hypothese aufstellen, dass vor allem Patienten mit schwerer Arthrose von einem Kniegelenkersatz bezüglich der Bremsreaktionszeit profitieren. Mögliche Gründe hierfür könnten eine bessere Beweglichkeit des Kniegelenkes postoperativ sowie eine Schmerzreduktion sein, die sich bei höheren Arthrosestadien deutlicher manifestieren.

Allerdings konnten wir keine signifikante Korrelation zwischen der Schwere des Arthrosestadiums und der Bremsreaktionszeit auf ein Vollbremsungsereignis feststellen. Bei Betrachtung der Bremsreaktionszeiten ist dies überraschend, da sich im Mittelwertvergleich eine Differenz von 511ms zwischen Patienten mit Kellgren Grad I und Patienten mit Grad III zeigt. Die fehlende Signifikanz könnte in unserer kleinen Probandenanzahl begründet sein. Das präoperative Arthrosestadium nach Kellgren&Lawrence, verbunden mit der Bremsreaktionszeit, wurde unseren Recherchen nach bis jetzt nur von Huang et al. erhoben. Alle Probanden in seiner Studie wiesen ein Stadium 3 auf (Huang et al., 2014). Daher war in seiner Studie kein Vergleich zwischen den Bremsreaktionszeiten und den einzelnen Arthrosestadien möglich.

Ab wann das Fahren nach einer Totalendoprothese des rechten Kniegelenkes wieder sicher möglich ist, wurde bereits in einigen früheren Studien untersucht (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Hofmann et al., 2014) (Huang et al., 2014) (Jordan et al., 2015) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016). Im Gegensatz zu unserer Studie wurden hier zum Teil deutlich frühere Untersuchungszeitpunkte angesetzt.

Die älteste Studie zu diesem Thema stammt von Spalding et al. Sie untersuchten 1994 insgesamt 40 Patienten präoperativ und 29 Patienten 4, 6, 8 und 10 Wochen postoperativ. Von den 29 Patienten besaßen 18 Patienten einen Führerschein, 11 Patienten hatten keine Fahrerfahrung. Von den 18 Patienten mit Führerschein erhielten 12 Patienten einen endoprothetischen Ersatz des rechten Kniegelenkes, 6 Patienten einen Ersatz des linken Kniegelenkes. Während der Simulation wurde die Zeit gemessen, die die Probanden benötigten, um auf ein Bremssignal mit dem Anheben des Fußes vom Gaspedal und Betätigen der Bremse mit einem Druck von 100N zu reagieren. Die Probanden, die einen rechtsseitigen Gelenkersatz erhielten, konnten laut Spalding et al. ihre präoperative Bremsreaktionszeit acht Wochen postoperativ wieder erreichen (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994). Die Ergebnisse von Spalding et al stehen hier im Widerspruch zu unseren Ergebnissen. Unsere Probanden konnten bereits nach sechs Wochen wieder ihren präoperativen Ausgangswert erreichen. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass sich in den

23 Jahren die zwischen den beiden Studien liegen, die Operationstechniken hin zu einer mehr minimal invasiven Technik entwickelt haben, wodurch weniger Muskel- und Weichteildefekte entstehen und eine schnellere Rehabilitation der Probanden möglich ist.

Pierson et al. untersuchten 2003 31 Patienten, davon erhielten 12 Patienten eine rechtsseitige Endoprothesenversorgung, 6 Patienten eine linksseitige und 13 Patienten eine beidseitige Prothesenversorgung. Die Untersuchungen fanden 3, 6, und 9 Wochen postoperativ statt und wurden mit dem präoperativen Ausgangswert verglichen. Den Probanden wurde freigestellt, welchen Fuß sie für die Betätigung des Bremspedales verwendeten. Die gemessene Bremsreaktionszeit wurde definiert als die Zeit vom Aufleuchten des roten Signallichtes bis zum vollständigen Durchdrücken des Bremspedales. Die Ergebnisse zeigten eine signifikante Verbesserung der Bremsreaktionszeit 6 und 9 Wochen postoperativ. 3 Wochen postoperativ konnte bei den männlichen Probanden keine Verbesserung, bei den weiblichen Probanden sogar eine um 10% schlechtere Bremsreaktion postoperativ vs. präoperativ festgestellt werden. Pierson et al. empfehlen auf Grund ihrer Ergebnisse eine Wiederteilnahme am Straßenverkehr 6 Wochen nach der Operation (Pierson, Earles & Wood, 2003).

Die sechs Wochen postoperativ erhobenen Ergebnisse von Pierson et al. zeigen eine signifikante Verbesserung im Vergleich zu den präoperativen Werten für die Bremsreaktionszeit im Gegensatz zu unseren Ergebnissen für die gleichzusetzende Brake80 Zeit. Allerdings nahmen Pierson et al. keine Unterscheidung zwischen den einzelnen Probandengruppen vor. So gilt seine Empfehlung sowohl für Patienten mit rechts-, links- und beidseitigem Ersatz des Kniegelenkes. Wir konzentrierten uns in unserer Studie nur auf Patienten mit rechtsseitigem Kniegelenkersatz, da das rechte Bein üblicherweise zur Betätigung der Bremse verwendet wird, während das linke Bein die Kupplung betätigt. Ein weitere Schwäche seiner Studie ist aus unserer Sicht, dass den Probanden die Betätigung des Bremspedales sowohl mit dem rechten, als auch mit dem linken Fuß gestattet wurde. Es bestand also die Möglichkeit, mit dem gesunden, nicht operierten Bein, das Bremspedal zu betätigen, wodurch keine Aussage über die Bremseigenschaften des operierten Kniegelenkes getroffen werden können. Auch der Versuchsaufbau entspricht nicht den realen Verhältnissen, sodass zusammenfassend eine externe Validität der Ergebnisse kritisch hinterfragt werden muss.

Liebensteiner et al. untersuchten 2010 insgesamt 70 Patienten, die sich einem rechten oder linken Kniegelenkersatz unterzogen. 31 Patienten, wovon 13 einen Ersatz des rechten und 18 einen Ersatz des linken Kniegelenkes erhielten wurden zwei und acht Wochen postoperativ erneut untersucht. Der Proband wurde aufgefordert, bei Erscheinen der roten

Signallampe den rechten Fuß so schnell wie möglich vom Gaspedal auf das Bremspedal umzusetzen und die Bremse zu betätigen. Die dafür benötigte Zeit wurde als Bremsreaktionszeit gemessen. Zwei Wochen postoperativ zeigte sich weder eine Reduktion noch eine Verlängerung der Bremsreaktionszeit. Bei der acht wöchigen follow-up Untersuchung konnte eine signifikante Verbesserung der Bremsreaktionszeit festgestellt werden. Liebensteiner et al. empfehlen auf Grund ihrer Ergebnisse eine Wiederteilnahme am Straßenverkehr nach rechtsseitigem Kniegelenkersatz zwei Wochen postoperativ (Liebensteiner et al., 2010).

Auf Grund des deutlich früheren Testzeitpunktes von Liebensteiner et al. (2 Wochen postoperativ) im Gegensatz zu unserem Testzeitpunkt (6 Wochen postoperativ) lassen sich unsere Ergebnisse nur schwer vergleichen. Ihre Erkenntnisse bestätigen aber unsere Ergebnisse, dass eine sichere Wiederteilnahme am Straßenverkehr sechs Wochen postoperativ möglich ist. Kritisch sehen wir in der Studie von Liebensteiner et al., dass keine Aussage darüber getroffen wurde, um wieviel Prozent oder mit wieviel Kraft das Bremspedal betätigt werden musste, um das Ende der Bremsreaktionszeit zu markieren. Es ist also fraglich, ob hier ein Vergleich mit unserer detektierten Brake80 Zeit zulässig ist. Zudem bestand hier das Gas- und Bremssignal in einer im festen Abstand zum Probanden angebrachten Distanz. Dieser Versuchsaufbau ist daher nicht auf den echten Straßenverkehr zu übertragen, da hier eine ständige Dynamik im Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug besteht. Auch mussten sich die Probanden, im Gegensatz zu unserer Studie, auf keinerlei Nebenereignisse konzentrieren und waren keiner Ablenkung ausgesetzt. In Anbetracht der genannten Kritikpunkte sollte eine Fahrempfehlung zwei Wochen postoperativ kritisch hinterfragt werden.

Dalury et al. führten 2011 an 29 Probanden ihre Untersuchungen 4, 6 und 8 Wochen nach einem minimal invasiven Ersatz des rechten Kniegelenkes durch. Es wurde eine Geschwindigkeit von 30 Meilen pro Stunde (48 km/h) vorgegeben. Ihre Studie ergab, dass alle Patienten nach vier Wochen ihren präoperativen Ausgangswert in der Bremsreaktionszeit wieder erreichten. Sobald der Ausgangswert erreicht wurde, wurde die Studienteilnahme beendet. Die sechs und acht Wochen Kontrollfahrten wurden daher nicht durchgeführt, sodass eine Aussage über einen Langzeitverlauf nicht möglich ist.

Vier Wochen nach Operation waren noch 11 Patienten auf Unterarmgehstützen angewiesen (Dalury, Tucker & Kelley, 2011). Fraglich ist, ob eine Fahrempfehlung für diese Patienten getroffen werden darf. Eine explizite Regelung für das Fahren mit Unterarmgehstützen lässt sich in den gesetzlichen Statuten der Bundesrepublik Deutschland nicht finden. Allerdings wird in §315c des Strafgesetzbuchs klar formuliert, dass man sich strafbar macht, wenn man infolge körperlicher Mängel nicht in der Lage ist, ein Auto sicher zu führen (Klein, Krämer &

Pieske, 2010). In unserer Studie war zum Zeitpunkt der zweiten Simulationsfahrt (t1) sechs Wochen postoperativ keiner der Patienten mehr auf Unterarmgehstützen angewiesen.

Dalury et al. erhoben analog zu unserer Studie die GasOff Zeit, sowie die Zeit bis zum Aufsetzen des Fußes auf dem Bremspedal, benannt als „transition time“. Des Weiteren wurde von ihnen die „reaction time“ gemessen, die Zeit zwischen dem Aufleuchten eines roten Leuchtsignales und dem Betätigen der Bremse. Analog zu unseren Ergebnissen konnten sie eine Verbesserung der GasOff Zeit von präoperativ zu postoperativ feststellen. Im Gegensatz zu unserer Studie allerdings zeigte sich keine signifikante Verbesserung der „transition time“, die bei uns mit der Brake0 Zeit gleichzusetzen ist. Dalury et al. konnten eine signifikante Verbesserung in der „reaction time“ feststellen. Hier muss allerdings kritisch angemerkt werden, dass keine Messungen durchgeführt wurden, um wieviel Prozent oder mit welcher Kraft die Patienten die Bremse durchgedrückt haben. Lediglich das Betätigen der Bremse mit dem Fuß wurde detektiert (Dalury, Tucker & Kelley, 2011). So muss hier hinterfragt werden, ob die Patienten in einer echten Gefahrensituation wie bei einer Vollbremsung bereits nach vier Wochen postoperativ in der Lage wären, das Bremspedal kräftig und komplett durchzudrücken. Im Gegensatz zu unserer Studie wurde eine langsamere Geschwindigkeit vorgegeben, so dass der Proband das Gaspedal weniger durchdrücken musste und das Auto bei einer Bremsung schneller zum Stillstand kam. Zusammenfassend ist es daher fraglich, ob die Bremsreaktionszeit sich auf den echten Straßenverkehr übertragen lässt.

2015 führten Huang et al. eine Fahrsimulationsstudie an 14 Patienten durch, die einen Ersatz des rechten Kniegelenkes durch einen minimal invasiven Zugang erhielten. Die Untersuchungszeitpunkte wurden präoperativ, sowie 2 Wochen und 4 Wochen postoperativ festgelegt. Der Proband wurde aufgefordert, das Fahrzeug auf 50, 70 und 90 km/h zu beschleunigen. Das Bremssignal bestand in einem auf dem Bildschirm erscheinenden Fußgänger, der sich von rechts in die Mitte des Bildschirms bewegt. Gemessen wurde die GasOff Zeit, die Zeit zwischen dem Verlassen des Gaspedales und Aufsetzen des Fußes auf das Bremspedal (Transition time), sowie die Zeit zwischen dem Aufsetzen des Fußes auf das Bremspedal und dem kompletten Durchdrücken der Bremse (pressing time) und die totale Bremsreaktionszeit. Ihre Ergebnisse zeigten, dass die totale Bremsreaktionszeit 4 Wochen postoperativ bei 50 und 70 km/h den präoperativen Ausgangswert wieder erreicht hat im Gegensatz zu einer verlängerten Bremsreaktionszeit bei 90 km/h. Huang et al. empfehlen daher die Wiederteilnahme am Straßenverkehr frühestens 4 Wochen postoperativ und dies auch nur bei moderaten Geschwindigkeiten (Huang et al., 2014).

Huang et al. führten unserer Meinung nach erstmals eine Studie durch, die sich auf die realen Bedingungen im Straßenverkehr übertragen lässt. Sie waren unseres Wissens nach

die Ersten, die eine Simulation verwendeten, bei der ein sich bewegendes Objekt, hier ein Fußgänger, zur Vollbremsung aufforderte. Daher lässt sich diese Studie mit unserem Versuchsaufbau am ehesten vergleichen. Interessant wäre eine follow-up Untersuchung 6 Wochen postoperativ mit einer Geschwindigkeit von 90 Km/h gewesen, um hier einen direkten Vergleich mit unseren Ergebnissen ziehen zu können. Die 4 Wochen Ergebnisse von Huang et al. bestätigen aber unsere Vermutung, dass eine Vollbremsung bei höheren Geschwindigkeiten auf einen unerwarteten Reiz erst 6 Wochen postoperativ wieder sicher möglich ist. Eine Wiederteilnahme am Straßenverkehr 2 Wochen postoperativ, wie sie von Hernandez et al. und Liebensteiner et al. empfohlen wird, können sowohl Huang et al. als auch wir nicht empfehlen.

Jordan et al. führten 2015 an 20 Patienten, die eine endoprothetische Versorgung des rechten Kniegelenkes erhielten, erstmals eine Simulation in einem echten Auto der Marke Volkswagen (Klasse: Polo) durch. Die Probanden wurden gebeten, auf ein rotes LED Signal, welches vor der Windschutzscheibe montiert wurde, mit einer Vollbremsung zu reagieren. Die Simulationsfahrten wurden präoperativ, sowie 8 Tage, 6 Wochen, 12 Wochen und 52 Wochen postoperativ durchgeführt. 8 Tage nach der Operation zeigte sich eine Zunahme der totalen Bremsreaktionszeit um 30 % im Vergleich zum präoperativen Ergebnis. Erst 12 Wochen postoperativ konnten die Probanden bei Jordan et al. ihren präoperativen Ausgangswert wieder erreichen. Die Autoren empfehlen die Wiederteilnahme am Straßenverkehr 6 Wochen postoperativ mit individueller Abwägung (Jordan et al., 2015).

Bei unserer Studie konnten die Patienten ihren präoperativen Ausgangswert bereits nach sechs Wochen wieder erreichen. Seine Empfehlung, ab wann eine sichere Teilnahme am Straßenverkehr wieder möglich ist, stimmt mit unserer überein.

Die aktuellste Studie zu diesem Thema ist momentan die Erhebung von Hernandez et al. aus dem Jahr 2016. Die Arbeitsgruppe führte ihre Versuchsreihe 2, 4, 6 und 8 Wochen nach endoprothetischem Ersatz des rechten Kniegelenkes durch, bzw. bis der präoperative Ausgangswert wieder erreicht wurde. Die Patienten wurden gebeten, auf ein rotes Lichtsignal vor ihnen mit einer Bremsreaktion, die zu einem Anhalten eines Fahrzeuges führt, zu reagieren. 83% der Probanden konnten zwei Wochen, die verbleibenden 17% der Probanden vier Wochen postoperativ ihren präoperativen Ausgangswert erreichen. Da alle Probanden in der Kontrollfahrt nach zwei Wochen eine Bremsreaktionszeit unter den laut Green empfohlenen 1,25 Sekunden erreichten, empfehlen Hernandez et al. die Wiederteilnahme am Straßenverkehr, so wie Liebensteiner et al., bereits nach zwei Wochen (Liebensteiner et al., 2010) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016) (Green, 2000).

Eine genaue Angabe, mit welchem Druck oder wie viel Prozent die Probanden das Bremspedal für einen vollständigen Bremsvorgang durchdrücken mussten, wurde in der Studie nicht angegeben. Zudem sehen wir in dem Versuchsaufbau keine realen Bedingungen wiedergegeben. Die Probanden mussten lediglich auf ein rotes oder grünes Lichtsignal reagieren und sahen sich keinen weiteren Einflussfaktoren wie dem Betätigen des Lenkrades, Einhalten einer vorgegebenen Geschwindigkeit sowie auf andere Verkehrsteilnehmer zu achten, ausgesetzt. Die in der Studie erwähnten 1,25 Sekunden gelten laut Green für unerwartete Reize (Green, 2000), nicht aber für einen vor dem Probanden aufgestellten, unbeweglichen und zu erwartenden Lichtreiz. Für einen solchen Versuchsaufbau sollte laut Green die Bremsreaktionszeit bei 700 ms liegen. Legt man also, wie in der Studie vorgenommen, die Berechnungen von Green zu Grunde, haben nicht wie von Hernandez et al. beschreiben alle Probanden nach zwei Wochen die empfohlene Bremsreaktionszeit wieder erreicht. Von daher sollte die hier getroffene Empfehlung, zwei Wochen postoperativ das Fahren im eigenen PKW wieder aufzunehmen, kritisch betrachtet werden.

Insgesamt herrscht Uneinigkeit über den richtigen Zeitpunkt der Wiederteilnahme am Straßenverkehr (Spalding, Kiss & Kyberd, 1994) (Pierson, Earles & Wood, 2003) (Merques et al., 2008) (Liebensteiner et al., 2010) (Dalury, Tucker & Kelley, 2011) (Hofmann et al., 2014) (Huang et al., 2014) (Jordan et al., 2015) (Hernandez, Ong & Orozco, 2016).

Die unterschiedlichen Zeitangaben könnten aus unserer Sicht dadurch bedingt sein, dass das Studiendesign sich zuweilen deutlich unterschied und bei allen Untersuchungen die Anzahl der Probanden nicht groß genug war, um eine valide Beurteilung zu akquirieren. Keine der genannten Studien konnte annähernd reale Versuchsbedingungen schaffen.

Eine weitere Problematik bei allen durchgeführten Studien besteht darin, dass für die Betätigung des Bremspedales verschiedene motorische Bewegungsabläufe durchgeführt werden können. So lässt sich ein Bremsvorgang nur durch Extension im Sprunggelenk und dadurch bedingtes Abheben des Vorfußes vom Gaspedal mit anschließender Adduktion im Hüftgelenk und Plantarflexion im Sprunggelenk bei Umsetzen und Aufsetzen des Vorfußes auf das Bremspedal bei am Boden haftendem Rückfuß durchführen. Es ist aber auch möglich, einen Bremsvorgang durch Flexion im Sprung-, Knie- und Hüftgelenk durchzuführen. In einer Studie an gesunden Probanden zeigten Scott et al, dass der schnellste Bremsvorgang darin besteht, nur den Fuß vom Gaspedal zum Bremspedal zu bewegen (Scott, Candler & Li, 1996).

Um den Einfluss der motorischen Bewegungsabläufe auf die Bremsreaktionszeit noch genauer untersuchen zu können, bedarf es weiterer Studien mit genauen Vorgaben für die Bewegungsabläufe.

6.2.2.3 Postoperativer Langzeitverlauf der Bremsreaktion auf ein Vollbremsungsereignis

Um eine Aussage über die Fahrfähigkeit nach rechtsseitigem Kniegelenkserersatz in Bezug auf eine längere Zeitspanne treffen zu können, wurde mit den Probanden in unserer Studie ein weiterer Untersuchungszeitpunkt drei Monate postoperativ vereinbart. Der dritte Simulationstermin sollte im Rahmen einer ohnehin terminierten postoperativen Wiedervorstellung in unserer Ambulanz erfolgen, um den Aufwand für die Probanden so gering wie möglich zu halten. An der Simulationsfahrt zum Testzeitpunkt t2 nahmen nur noch 7 von 37 präoperativ getesteten Gonarthrosepatienten postoperativ teil. Gründe für das Ausscheiden der anderen Probanden aus der Studie waren das Auftreten von Übelkeit während der Simulationsfahrt, organisatorische Schwierigkeiten bei der Terminfindung, sowie der Rücktritt an der Studienteilnahme auf Wunsch des Probanden.

Auf Grund der kleinen Probandenzahl führten wir eine qualitative Analyse auf Individualebene durch. Die Diskussion der Ergebnisse soll daher im Folgenden für jeden Probanden individuell erfolgen.

Proband 26 (64 Jahre, männlich) zeigte präoperativ eine überdurchschnittlich gute Reaktionszeit auf das Ereignis GasOff im Vergleich mit der Kontroll- und Gonarthrosegruppe. Bei der 3-Monatskontrolle konnte allerdings eine deutliche Zunahme der GasOff Zeit, sowie der Brake0 und der Brake80 Zeit erhoben werden. Interessanterweise zeigte der Proband bei der 6-Wochenkontrolle deutlich bessere Reaktionszeiten als bei der 3-Monatskontrolle. Überraschend ist, dass der Proband bei der 3-Monatskontrollfahrt keinerlei Schmerzen oder Funktionseinschränkungen im rechten Kniegelenk während der Testfahrt angab. Er selber schätzte sich anhand des EuroQol-VAS 100% fahrtüchtig ein. Auch in der körperlichen Untersuchung zeigten sich keine Auffälligkeiten. Eine Erklärung für die langsameren Bremsreaktionszeiten könnte die mit dem DALI Score erfasste Beanspruchung der Globalen Aufmerksamkeit sein. Diese bewertete der Proband bei der 6-Wochenkontrolle mit 3 von 6 möglichen Punkten. Bei der 3-Monatskontrolle hingegen mit 6 von 6 möglichen Punkten.

Proband 30 (48 Jahre, männlich) konnte sich in allen drei Bremsereignissen bei der 3-Monatsfahrt im Vergleich zur präoperativen Simulationsfahrt verbessern. Betrachtet man die Brake80 Zeit, liegt der Proband allerdings im Vergleich mit den Mittelwerten der gesunden Kontrollgruppe ($M=1586\text{ms} \pm 435$) noch immer 336ms über der Zeit der Gesunden.

Interessanterweise zeigte auch Proband 30, sowie Proband 26, eine um 517ms bessere und eine der gesunden Kontrollgruppe entsprechende Brake80 Zeit bei der 6-Wochenkontrolle. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass Proband 30 im DALI eine höhere motorische Beanspruchung als bei der sechs Wochenkontrolle angibt. Im Vergleich der darüberhinaus erhobenen Parameter zeigt sich kein Unterschied zwischen der 6-Wochen und 12-Wochenkontrollfahrt.

Bei Proband 31 (56 Jahre, weiblich) ergab sich in der 3-Monatskontrolle eine Zunahme der GasOff Zeit, jedoch eine Verbesserung der Brake0 und Brake80 Zeit im Vergleich mit den präoperativen Werten. Diese Probandin konnte demnach eine Vollbremsung schneller mit einer Kniegelenksendoprothese als ohne durchführen. Präoperativ wurde die Probandin in ein Arthrostadium III nach Kellgren&Lawrence eingeteilt. Die deutlich verbesserte Bremsreaktionszeit stützt unsere Hypothese, dass bei schweren Arthrostadien eine Kniegelenksprothese zu einer Verbesserung der Bremsreaktionszeit führt, auch wenn wir diese Hypothese auf Grund der geringen Probandenanzahl nicht signifikant nachweisen konnten.

Auch bei Proband 32 (71 Jahre, weiblich) verbesserte sich bei allen drei Bremsereignissen die Zeiten im Vergleich zu den präoperativ erhobenen Werten. Die Probandin konnte beim Vergleich der Bremsreaktionszeiten der gesunden Kontrollgruppe eine bessere GasOff (720ms vs. Con: 854ms), Brake0 (1032ms vs. Con: 1151ms) und Brake80 Zeit (1559ms vs. Con: 1589ms) erreichen. Die Probandin war also drei Monate nach der Alloarthroplastik in der Lage, genau so gut auf ein Vollbremsungsereignis zu reagieren wie die gesunde Kontrollgruppe. Mögliche Gründe für die Verbesserung der Bremsreaktionszeiten könnten sein, dass die Probandin präoperativ während der Fahrt auf der visuellen Schmerzskala 5 von 10 möglichen Punkten angab und auf die Einnahme von Schmerzmitteln angewiesen war. Drei Monate postoperativ gab die Probandin während der Fahrt keinerlei Schmerzen (VAS 1) an. Eine Analgetikaeinnahme war zu diesem Zeitpunkt nicht mehr notwendig. Auch die Flexion im Kniegelenk konnte durch die Operation von 90° präoperativ zu 120° drei Monate postoperativ deutlich verbessert werden. Die Probandin hat hier also sehr von der Alloarthroplastik profitiert.

Proband 37 (70 Jahre, männlich) zeigte bei der Simulationsfahrt drei Monate postoperativ eine dem präoperativen Ausgangswert entsprechende GasOff Zeit und eine verlängerte Brake0 Zeit im Vergleich zum präoperativen Status. Auf Grund eines technischen Defektes konnte die Brake80 Zeit bei der 3-Monatskontrolle nicht gespeichert werden und stand daher nicht zur Auswertung zur Verfügung. Interessanterweise zeigte auch Proband 37, analog zu den Probanden 26 und 30, eine bessere Bremsreaktionszeit in der 6-Wochenkontrolle als in der 3-Monatskontrolle. Beim Vergleich der Bremsreaktionszeiten von Proband 37 mit den Bremsreaktionszeiten der gesunden Kontrollgruppe sechs Wochen postoperativ erzielte der

Proband bessere GasOff (721ms vs. Con: 854ms), Brake0 (1132ms vs. Con: 1151ms) und Brake80 Zeiten (1575ms vs. Con: 1589ms) als die Kontrollgruppe. Dieses Ergebnis konnte Proband 37 nur in der 3-Monatskontrolle in der GasOff Zeit (828ms vs. Con: 854ms) bestätigen. Anhand unserer erhobenen Daten konnten wir hierfür keine plausible Erklärung finden, weshalb wir von einem Zufallsbefund ausgehen.

Die Beanspruchung während der Fahrt, erhoben mit dem DALI, zeigte zwischen der 6-Wochen und 12-Wochenkontrollfahrt keine Differenz. Sie verbesserte sich sogar im Vergleich zur präoperativen Fahrt. Zu allen drei Testzeitpunkten gab der Proband während der Testfahrt keinerlei Schmerzen oder Funktionseinschränkungen an und zeigte sich mit seinem rechten Kniegelenk sehr zufrieden. Auch die körperliche Untersuchung zeigte keine Auffälligkeiten und die Flexion im Kniegelenk betrug den gleichen Freiheitsgrad (110°) wie bei der sechs Wochenkontrolle.

Proband 47 (58 Jahre, männlich) konnte für das Ereignis GasOff und Brake0 eine im Vergleich zum präoperativen Ergebnis deutlich bessere Zeit erreichen. Die GasOff Zeit entsprach der der gesunden Kontrollgruppe. Die Brake80 Zeit konnte auf Grund eines technischen Defektes nicht gespeichert werden und stand daher nicht zur Auswertung der 3-Monatsergebnisse zur Verfügung. Präoperativ gab der Proband bei der Simulationsfahrt mit Hilfe der Visuellen Analog Skala für Schmerzen einen Punktwert von 5 von 10 möglichen Punkten an. Nach der subjektiven Einschätzung des Probanden bestand auch keine volle Funktion des rechten Kniegelenkes bei der Simulationsfahrt (8 von 10 Punkten) und nur eine durchwachsene Zufriedenheit (7 von 10 Punkten) mit dem Kniegelenk. Die Flexion im Kniegelenk betrug 90°, es bestand ein Arthrostadium III nach Kellgren&Lawrence. Drei Monate postoperativ zeigte der Patient sich überaus zufrieden (10 von 10 Punkten) mit seinem rechten Kniegelenk während der Simulationsfahrt. Auch die Funktion war nach seinen Angaben wieder vollständig hergestellt (10 von 10 Punkten) und es bestanden keine Schmerzen während der Fahrt (1 von 10 Punkten). Die Flexion des Kniegelenkes betrug drei Monate postoperativ 110°. Bei diesem Patienten konnte durch die Alloarthroplastik drei Monate postoperativ eine deutliche Verbesserung in allen erhobenen Parametern im Vergleich zu den präoperativen Ausgangswerten erreicht werden.

Proband 51 (56 Jahre, männlich) konnte sich bei der Gegenüberstellung der prä- und drei Monate postoperativen Ergebnisse in der GasOff und Brake0 Zeit verbessern. In der Brake80 Zeit reagierte er drei Monate postoperativ 95ms langsamer als präoperativ. Hervorzuheben ist hier, dass der Proband sowohl präoperativ als auch postoperativ in allen detektierten Ereignissen bessere Reaktionszeiten aufzeigte als die gesunde Vergleichsgruppe. Trotz eines präoperativ erhobenen Arthrosegrad III nach Kellgren&Lawrence konnte der Proband sein Kniegelenk um 130° flektieren und gab keinerlei Schmerzen oder Funktionseinschränkungen während der Simulationsfahrt an. Auch

in der 3-Monatskontrolle zeigte sich der Proband restlos zufrieden mit seinem rechten Kniegelenk und hatte zum Versuchszeitpunkt t2 weder Schmerzen noch eine Funktionsminderung im rechten Kniegelenk. Der Proband konnte 3 Monate postoperativ sein präoperatives Ergebnis wieder erreichen und sogar bezüglich der GasOff und Brake0 Zeit verbessern. Die Ergebnisse dieses Probanden stehen hier im Widerspruch zu unserem Ergebnis, dass Patienten mit Arthrose signifikant längere Bremsreaktionszeiten aufweisen als gesunde Probanden.

Jordan et al. führten bis heute die einzige uns bekannte Studie durch, die analog zu uns einen Langzeitverlauf nach rechtseitiger Alloarthroplastik erhoben hat. Sie konnten dabei jedoch im Gegensatz zu uns auf ein größeres Patientenkollektiv von 20 Probanden zurückgreifen und dadurch signifikante Ergebnisse erzielen und einen längeren Zeitraum evaluieren. Ihre Probanden konnten 12 Wochen postoperativ ihr präoperatives Ergebnis wieder erreichen und 52 Wochen nach rechtsseitigem Kniegelenkersatz zeigten ihre Probanden signifikant bessere Reaktionszeiten als präoperativ (Jordan et al., 2015). Die Ergebnisse von Jordan et al. stehen hier im Widerspruch zu unseren Ergebnissen. Unsere Probanden konnten bereits nach 6 Wochen ihren präoperativen Ausgangswert wieder erreichen und die GasOff und Brake0 Zeit sogar signifikant zum präoperativen Ergebnis verbessern.

Um statistisch signifikante Ergebnisse im Langzeitverlauf zu erhalten und um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten, bedarf es weiteren Studien mit größeren Fallzahlen. Nichtsdestotrotz bestärken uns die inhomogenen Ergebnisse unserer Probanden, die an der 3-Monatskontrolle teilnahmen darin, auch unter Beachtung der Ergebnisse von Jordan et al., Patienten immer individuell zu betrachten und auf die individuellen Gegebenheiten und Fortschritte einzugehen.

6.3 Korrelation der Fahrtüchtigkeit von Arthrosepatienten mit dem klinischen Befund

Durch Erhebung des „Hospital for Special Surgery Score“ (HSS) nach Ranawat und Shine erfassten wir sowohl subjektive funktionelle Kriterien als auch objektive Untersuchungsbefunde. Dabei erreichte die gesunde Kontrollgruppe einen Mittelwert von 100 ± 0 Punkten, was für eine exzellente Kniegelenksfunktion spricht. Für die Gonarthrosepatienten konnten wir einen signifikant schlechteren HSS Score bei der präoperativen Testung von 61 ± 9 Punkten erheben, entsprechend einer angemessenen Funktion des Kniegelenkes. In unserer Auswertung konnten wir einen marginal signifikanten

Zusammenhang zwischen dem HSS Scorewert und der Break80 Bremsreaktionszeit nachweisen. Je höher der HSS Score der Probanden war, desto kürzer war deren Brake 80 Bremsreaktionszeit. Um hier ein signifikantes Ergebnis zu erhalten und eine valide Aussage über die Vorhersagekraft des HSS Scores bezüglich der Bremsreaktionszeit von Gonarthrosepatienten treffen zu können, bedarf es weiterer Studien mit einem größeren Probandenkollektiv.

Sechs Wochen postoperativ konnten die Patienten ihren Punktwert im HSS signifikant im Vergleich zum präoperativen Ergebnis auf einen Mittelwert von 73 ± 14 Punkte verbessern, was für eine gute Kniegelenksfunktion spricht. Die Verbesserung im HSS spiegelte sich auch bei verbesserten Bremsreaktionszeiten 6 Wochen postoperativ wieder.

Keine Wechselbeziehung hingegen konnten wir bezüglich des radiologisch gesicherten Arthrostadiums und der Bremsreaktionszeit feststellen. Dieses Ergebnis kann sich dadurch erklären lassen, dass die klinische Symptomatik häufig nicht mit dem radiologischen Befund übereinstimmt (Hannan, Felson & Pincus, 2000). Unsere Ergebnisse werden auch durch die Studie von Bernstorff et al. bestätigt. Seine Arbeitsgruppe konnte keine Korrelation zwischen dem radiologisch gesicherten Arthrostadium und der Bremsreaktionszeit von Patienten feststellen (Bernstorff et al., 2017). Das radiologische Stadium zur Beurteilung der Fahrtüchtigkeit zu Rate zu ziehen, kann daher nicht empfohlen werden.

Um die subjektiven Empfindungen Schmerz, Funktion und Zufriedenheit im Alltag und bei der Simulationsfahrt bezogen auf das rechte Kniegelenk objektivieren zu können, verwendeten wir bei jeder Simulationsfahrt eine Visuelle Analogskala.

Sowohl im Alltag als auch bei den Simulationsfahrten unterschied sich die gesunde Kontrollgruppe und die Gruppe der an Arthrose erkrankten Patienten in allen drei Dimensionen hoch signifikant. Es darf also vermutet werden, dass die signifikant längeren Bremsreaktionszeiten der Gonarthrosepatienten bei der präoperativen Fahrt im Vergleich zu denen der Kontrollgruppe durch den VAS-Score erklärt werden können. Unterstützt wird diese Annahme durch die Ergebnisse der Befragung sechs Wochen postoperativ. Hier zeigten sich signifikante Verbesserungen sowohl im Alltag als auch bei der Simulationsfahrt hinsichtlich der Dimension Schmerz und Zufriedenheit. Eine signifikante Verbesserung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten t0 und t1 gaben die Probanden bei der Dimension Funktion nur im Alltag an. Bei Betrachtung der Bremsreaktionszeiten sechs Wochen postoperativ zeigte sich eine Verbesserung gegenüber dem präoperativen Ergebnis. Wir schließen daraus, dass die Punktwerte in der Visuellen Analogskala mit den Bremsreaktionszeiten der Probanden korrelieren.

Die Ergebnisse aus der Visuellen Analogskala konnten beim Vergleich der Kontrollgruppe mit der präoperativen Untersuchung der Gonarthrosepatienten nochmals durch unseren

Abschlussfragebogen bestätigt werden. So stimmten die Gonarthrosepatienten signifikant häufiger der Aussage zu, Schmerzen oder Beschwerden im rechten Kniegelenk während der Fahrt zu haben als die gesunde Kontrollgruppe. Schmerzen im rechten Kniegelenk könnten unserer Meinung nach die schlechteren Bremsreaktionszeiten präoperativ erklären.

6.4 Subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit

Interessant waren die Ergebnisse der subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit, erhoben mit Hilfe des EuroQoLVAS, verglichen mit den tatsächlichen Bremsreaktionszeiten der Probanden. Zum präoperativen Zeitpunkt zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gonarthrosepatienten und der gesunden Kontrollgruppe. So schätzten die Patienten ihre Fahrtüchtigkeit fast genauso gut ein wie die gesunde Kontrollgruppe, obwohl bei Betrachtung der Bremsreaktionszeiten sich deutliche Differenzen zwischen den beiden Gruppen präsentierten.

Auch sechs Wochen postoperativ fanden sich im Vergleich mit den präoperativen Daten der Patienten nach Alloarthroplastik keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten. Bei der 3-Monatskontrolle schätzten sich alle Probanden sogar zu 100% fahrtüchtig ein, obwohl sich hier in der individuellen Betrachtung gezeigt hat, dass einzelne Probanden sich sogar im Vergleich zu ihren präoperativen Bremsreaktionszeiten verschlechtert hatten.

In früheren Studien haben nur Hernandez et al. die subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit berücksichtigt. Die Probanden wurden gefragt, ob sie auf Grund ihrer Reaktionszeit der Meinung sind, wieder aktiv am Straßenverkehr teilnehmen zu können. Antwortmöglichkeiten waren: „ja“, „nein“, „ich weiß es nicht“. Hernandez et al. konnten interessanterweise entgegen unserer Erhebung eine signifikante Korrelation zwischen der Wahrnehmung der Probanden und der Bremsreaktionszeit feststellen. 67% der Probanden, die zwei Wochen postoperativ ihre präoperativen Ergebnisse wieder erreichten, fühlten sich fahrtauglich. Keiner seiner befragten Probanden schätze sich, in Anbetracht seiner Bremsreaktionszeit, zu früh fahrfähig ein (Hernandez, Ong & Orozco, 2016). Eine Erklärung für die Differenz seiner und unserer Ergebnisse könnte sein, dass die Probanden von Hernandez et al. auf der Grundlage ihrer Bremsreaktionszeit zu ihrer Einschätzung befragt wurden. Unsere Probanden erhielten keine Angaben, wie gut oder schlecht sie in der Simulationsfahrt abgeschlossen hatten. Unsere Probanden gaben an, deutlich weniger Schmerzen im rechten Kniegelenk zu haben als bei der präoperativen Fahrt. Auch dieses

positive Operationsergebnis könnte bei den Probanden den Eindruck erweckt haben, wieder in vollem Umfang fahrtauglich zu sein und dadurch eine Fehleinschätzung zu treffen.

In Anbetracht unserer Ergebnisse scheinen Arthrosepatienten nicht in der Lage zu sein, ihre Fahrtüchtigkeit angemessen einzuschätzen. Um eine Gefährdung des Straßenverkehrs zu vermeiden, muss hier der behandelnde Arzt den Patienten bezüglich möglicher Einschränkungen bei der aktiven Teilnahme am Straßenverkehr sensibilisieren.

7 Schlussfolgerung

Behandelnde Ärzte werden häufig mit der schwierigen Entscheidung konfrontiert, ab wann eine sichere Wiederteilnahme am Straßenverkehr nach rechtsseitiger Alloarthroplastik möglich ist. Bis heute haben sich diesem Thema nur wenige Studien gewidmet. Eine einheitliche Aussage kann gegenwärtig nicht getroffen werden.

Wir konnten mit unserer Studie erstmals ein modernes und auf den Straßenverkehr übertragbares Fahrsimulationsmodell etablieren. Durch die Verwendung eines realen Fahrzeuges sowie einer dreidimensionalen Darstellung einer Fahrumgebung konnte ein wahrheitsgetreues Fahrgefühl den Probanden vermittelt werden. Erstmals untersuchten wir neben der Bremsreaktionszeit bei einem Vollbremsungsereignis auch das Bremsverhalten der Probanden bei einem Verlangsamungsereignis.

Wir konnten feststellen, dass Patienten, die unter einer rechtsseitigen Gonarthrose leiden, eine deutlich längere Bremsreaktionszeit für ein Vollbremsungsereignis benötigen als gesunde Probanden. Auf ein Verlangsamungsereignis hatte die Arthroseerkrankung hingegen keinen Einfluss. Die subjektive Einschätzung der Probanden bezüglich ihrer Fahrfähigkeit zeigte keine Übereinstimmung mit ihren tatsächlichen Bremsreaktionszeiten. Hingegen konnten wir eine marginal signifikante Korrelation zwischen dem klinisch erhobenen Hospital for Special Surgery Score (HSS) und der Bremsreaktionszeit nachweisen. Keine Korrelation konnte zwischen der Bremsreaktionszeit mit dem radiologisch gesicherten Arthrostadium der Probanden gefunden werden, weshalb die Bildgebung alleine zur Beurteilung der Fahrfähigkeit nicht herangezogen werden sollte.

Sechs Wochen postoperativ konnten unsere Probanden ihre präoperativen Ergebnisse wieder erreichen oder sogar verbessern. Zu diesem Zeitpunkt zeigte sich kein signifikanter Unterschied mehr zwischen der gesunden Kontrollgruppe und den Patienten nach rechtsseitiger Alloarthroplastik. Eine Knieendoprothese scheint also das Bremsvermögen sechs Wochen nach der Operation zu verbessern. Bei der individuellen Betrachtung der Probanden zeigte sich, dass einige auch nach drei Monaten postoperativ ihren präoperativen Ausgangswert noch nicht wieder erreicht hatten. Um den Langzeitverlauf nach einer Knieendoprothesenversorgung genauer beurteilen zu können, bedarf es einer höheren Fallzahl und eines längeren Beobachtungszeitraums.

In Anbetracht unserer Daten empfiehlt es sich, Patienten mit Gonarthrose über die eingeschränkte Fahrfähigkeit aufzuklären. Gonarthrosepatienten schätzen ihre Fahrfähigkeit subjektiv nicht schlechter ein als Gesunde. Im Rahmen des ärztlichen Beratungsgesprächs

ist eine Sensibilisierung der Patienten für die Gefahren des Autofahrens mit Gonarthrose unbedingt erforderlich.

Die Fahrtüchtigkeit von Arthrosepatienten ist bezogen auf unsere Ergebnisse sechs Wochen nach Alloarthroplastik wieder hergestellt. Trotzdem müssen die individuellen prä- und postoperativen Verläufe beachtet werden und die Freigabe der Fahrtüchtigkeit abhängig vom klinischen Verlauf erteilt werden.

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank nachstehenden Personen zum Ausdruck bringen, ohne deren Mithilfe die Anfertigung dieser Dissertationsarbeit nicht zustande gekommen wäre:

Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr. med Konstantinos Anagnostakos, meinem Doktorvater, für die Betreuung und Korrektur dieser Arbeit und die Überlassung dieses zukunftsweisenden Themas.

Weiterhin möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Betreuerin Frau Dr. med Nora Diehl für ihre Unterstützung, ihre konstruktive Kritik, die Überlassung von Quellen und Dokumente sowie ihre freundliche Korrektur meiner Arbeit bedanken.

Danken möchte ich auch Herrn Prof. Dieter Kohn für die Unterstützung durch ihn und sein Team der orthopädischen Universitätsklinik in Homburg. Ohne ihre Hilfestellung bei der Terminfindung mit den Patienten und der Überlassung medizinischer Dokumente wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Besonders möchte ich mich auch bei Herrn M. Sc Rafael Math und der Automotive IUI Group des deutschen Forschungszentrums für künstliche Intelligenz für die kontinuierliche Betreuung der komplexen Technik und Software bedanken sowie der Bereitstellung des Fahrsimulators. Dadurch konnten wir auf einen hochmodernen Fahrsimulator für unsere Erhebung zurückgreifen und uns somit deutlich von allen vorherigen Studien unterscheiden.

Für die große Unterstützung in der statistischen Auswertung und die schnellen Antworten auf alle meine Fragen dazu möchte ich mich herzlich bei Herrn Simon von Massow bedanken.

Mein außerordentlicher Dank gilt meiner Mutter, Frau Dr. med Walz-Eschenlohr, für die mehrfache Durchsicht meiner Dissertation, ihre kritischen Betrachtungen und ihre differenzierten Anmerkungen. Vor allem aber ihr moralischer Beistand haben mir Kraft und Mut zur Anfertigung und Vollendung meiner Dissertation gegeben.

Tief verbunden und dankbar bin ich meinem Mann, Peter Bürkle, ohne dessen Unterstützung, Geduld und liebevollem Verständnis in dieser Zeit meine Dissertation nicht hätte gelingen können.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner ganzen Familie für die unendliche Unterstützung auf meinem langen Weg zum Medizinstudium und währenddessen bedanken. Ohne euch wäre ich nicht die, die ich heute sein darf. Dafür werde ich euch für immer zutiefst dankbar sein.

9 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------------|--|
| Abb. | Abbildung |
| AG | Aktiengesellschaft |
| a.p. | anterior posterior |
| BMI | Body Mass Index |
| bzw. | beziehungsweise |
| ca. | circa |
| cm | Zentimeter |
| con. | Kontrolle |
| CRP | C-reaktives Protein |
| DFKI | Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz |
| DALI | Driver Activity Load Index |
| e.V. | eingetragener Verein |
| EuroQoI | European Quality of Life |
| et al | et alii – und andere |
| EULAR | European League Against Rheumatism |
| ggf. | gegebenenfalls |
| gon. | Gonarthrose |
| HSS | Hospital for Special Surgery |
| IBM | International Business Machines Corporation |
| i.d.R. | in der Regel |
| Kap. | Kapitel |
| KFZ | Kraftfahrzeug |
| km/h | Kilometer pro Stunde |
| LED | Leuchtdiode |
| Lig. | Ligamentum |
| M. | Musculus |
| M. | Mittelwert |
| m | Meter |
| mm | Millimeter |
| ms | Millisekunde |
| N | Newton |
| NSAR | nichtsteroidale Antirheumatika |
| pat. tang. | Patella tangential |
| PC | Personal Computer |
| PKW | Personenkraftwagen |

| | |
|------|---------------------------|
| Tab. | Tabelle |
| VAS | Visuelle Analogskala |
| VPN | Versuchspersonennummer |
| vs. | versus |
| WHO | World Health Organization |
| z.B. | zum Beispiel |
| 3-D | dreidimensional |

10 Literaturverzeichnis

1. Abbott, J. A., Hawe, J., & Garry, R. (2003). Quality of life should be considered the primary outcome for measuring success of endometrial ablation. *The Journal of the American Association of Gynecologic Laparoscopists*, 10(4), 491-495.
2. Altman, R., Asch, E., Bloch, D., Bole, G., Borenstein, D., Brandt, K., ... & Howell, D. (1986). Development of criteria for the classification and reporting of osteoarthritis: classification of osteoarthritis of the knee. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 29(8), 1039-1049.
3. Andrianakos, A. A., Kontelis, L. K., Karamitsos, D. G., Aslanidis, S. I., Georgountzos, A. I., Kaziolas, G. O., ... & ESORDIG Study Group. (2006). Prevalence of symptomatic knee, hand, and hip osteoarthritis in Greece. The ESORDIG study. *The Journal of rheumatology*, 33(12), S. 2507-2513.
4. Beckmann, K. J., Holz-Rau, C., Rindsfuser, G., & Scheiner, J. (2005). Mobilität älterer Menschen-Analysen und verkehrsplanerische Konsequenzen. *Stadt Region Land (SRL)*, (78).
5. Bedson, J., & Croft, P. R. (2008). The discordance between clinical and radiographic knee osteoarthritis: a systematic search and summary of the literature. *BMC musculoskeletal disorders*, 9(1), 116.
6. Bellamy, N., Campbell, J., Robinson, V., Gee, T., Bourne, R., & Wells, G. (2005). Viscosupplementation for the treatment of osteoarthritis of the knee. *Cochrane database of systematic reviews*, (2).
7. Bernhardt S. (2018). Mobilität im Alter, Beeinflussung der Arthrose des rechten Hüftgelenks die Fahrtüchtigkeit und ab wann können Patienten nach einer Alloarthroplastik der rechten Hüfte wieder Autofahren?, Dissertation an der Universität des Saarlandes
8. von Bernstorff, M., Feierabend, M., Jordan, M., Glatzel, C., Ipach, I., & Hofmann, U. K. (2017). Radiographic Hip or Knee Osteoarthritis and the Ability to Drive. *Orthopedics*, 40(1), e82-e89.
9. Beubler, E. (2017). *Kompendium der Pharmakologie: gebräuchliche Arzneimittel in der Praxis*. Springer-Verlag.
10. Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend. (2012) *Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend*. Abgerufen am 16. April 2016 von Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend:
http://www.bmfsfj.de/RedaktionBMFSFJ/Abteilung3/Bilder___jpeg/grafik-demografischer-wandel-1,property=bild,bereich=bmfsfj,sprache=de.jpg
11. Castronovo, A. (2014). Time-compressed spoken words enhance driving performance in complex visual scenarios: evidence of crossmodal semantic priming effects in basic cognitive experiments and applied driving simulator studies.

12. da Costa, B. R., Reichenbach, S., Keller, N., Nartey, L., Wandel, S., Jüni, P., & Trelle, S. (2016). Effectiveness of non-steroidal anti-inflammatory drugs for the treatment of pain in knee and hip osteoarthritis: a network meta-analysis. *The Lancet*, 387(10033), S. 2093-2105.
13. Dalury, D. F., Tucker, K. K., & Kelley, T. C. (2011). When can I drive?: brake response times after contemporary total knee arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 469(1), S. 82-86.
14. Deutsche Arthrose -Hilfe e.V., *Deutsche Arthrose-Hilfe e.V.*. Abgerufen am 21. Mai 2017 von Deutsche Arthrose-Hilfe e.V.: <http://www.arthrose.de/arthrose/haeufigkeit.html>
15. Dieppe, P. A., Sathapatayavongs, B., Jones, H. E., Bacon, P. A., & Ring, E. F. J. (1980). Intra-articular steroids in osteoarthritis. *Rheumatology*, 19(4), S. 212-217.
16. Dougados, M., Gueguen, A., Nguyen, M., Berdah, L., Lequesne, M., Mazieres, B., & Vignon, E. (1996). Radiological progression of hip osteoarthritis: definition, risk factors and correlations with clinical status. *Annals of the rheumatic diseases*, 55(6), 356-362.
17. Devlin, N. J., & Brooks, R. (2017). EQ-5D and the EuroQol group: past, present and future. *Applied health economics and health policy*, 15(2), 127-137.
18. Felson, D. T., & Zhang, Y. (1998). An update on the epidemiology of knee and hip osteoarthritis with a view to prevention. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 41(8), 1343-1355.
19. Felson, D. T., Zhang, Y., Anthony, J. M., Naimark, A., & Anderson, J. J. (1992). Weight loss reduces the risk for symptomatic knee osteoarthritis in women The Framingham Study. *Annals of internal medicine*, 116(7), S. 535-539.
20. Felson, D. T. (1988). Epidemiology of hip and knee osteoarthritis. *Epidemiologic reviews*, 10, S. 1-28.
21. Gabaude, C., Baracat, B., Jallais, C., Bonniaud, M., & Fort, A. (2012). Cognitive load measurement while driving. In: Human Factors: a view from an integrative perspective.
22. Gerok, W. (Ed.). (2007). *Die Innere Medizin: Referenzwerk für den Facharzt*. Schattauer Verlag.
23. Green, M. (2000). " How long does it take to stop?" Methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation human factors*, 2(3), S. 195-216.
24. Günther, K. P., Puhl, W., Brenner, H., & Stürmer, T. (2002). Klinische Epidemiologie von Hüft-und Kniegelenkarthrosen: Eine Übersicht über Ergebnisse der „Ulmer Osteoarthrose-Studie “. *Zeitschrift für Rheumatologie*, 61(3), 244-249.
25. Hannan, M. T., Felson, D. T., & Pincus, T. H. E. O. D. O. R. E. (2000). Analysis of the discordance between radiographic changes and knee pain in osteoarthritis of the knee. *The Journal of rheumatology*, 27(6), S. 1513-1517.

26. Hernandez, V. H., Ong, A., Orozco, F., Madden, A. M., & Post, Z. (2016). When Is It Safe for Patients to Drive After Right Total Knee Arthroplasty?. *The Journal of arthroplasty*, 31(11), S. 2495-2498.
27. Hofmann, U. K., Jordan, M., Rondak, I., Wolf, P., Kluba, T., & Ipach, I. (2014). Osteoarthritis of the knee or hip significantly impairs driving ability (cross-sectional survey). *BMC musculoskeletal disorders*, 15(1), S. 20.
28. Huang, H. T., Liang, J. M., Hung, W. T., Chen, Y. Y., Guo, L. Y., & Wu, W. L. (2014). Timeframe for return to driving for patients with minimally invasive knee arthroplasty is associated with knee performance on functional tests. *BMC musculoskeletal disorders*, 15(1), S. 198.
29. IGES Institut. (7. Juni 2016). *IGES*. Abgerufen am 21. Mai 2017 von IGES: http://www.iges.com/presse/2016/weissbuch-gelenkersatz/index_ger.htm
30. Imhof, H., Nöbauer-Huhmann, I., & Trattning, S. (2009). Koxarthrose—ein Update. *Der Radiologe*, 49(5), 400-409.
31. Jerosch, J. (2015). Endoprothesenrelevante Biomechanik und Pathophysiologie des Kniegelenkes. In *Knieendoprothetik* (pp. 5-29). Springer Berlin Heidelberg.
32. Jordan, M., Hofmann, U. K., Rondak, I., Götze, M., Kluba, T., & Ipach, I. (2015). Brake response time is significantly impaired after total knee arthroplasty: Investigation of performing an emergency stop while driving a car. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 94(9), S. 665-676.
33. Kellgren, J. H., & Lawrence, J. S. (1957). Radiological assessment of osteoarthritis. *Annals of the rheumatic diseases*, 16(4), 494.
34. Kim, Y. H., Kim, J. S., & Oh, S. W. (2002). Total knee arthroplasty in neuropathic arthropathy. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 84(2), 216-219.
35. Klein, H. H., Krämer, A., Pieske, B. M., Trappe, H. J., & De Vries, H. (2010). Fahreignung bei kardiovaskulären Erkrankungen. *Der Kardiologe*, 4(6), 441-473.
36. Kohn, D. (2015). *Nachbehandlung Knieendoprothese*. Orthopädische Universitätsklinik Homburg-Saar, Orthopädie. Homburg.
37. Kohn, D., & Pohlemann, T. (2014). *Operationsatlas für die orthopädisch-unfallchirurgische Weiterbildung*. Springer-Verlag.
38. Kubitzki, J., & Janitzek, T. (2009). *Sicherheit und Mobilität älterer Verkehrsteilnehmer*. Allianz Deutschland, Unternehmenskommunikation.
39. Kuster, M., & Grifka, J., (Eds.). (2011). *Orthopädie und Unfallchirurgie*. Springer-Verlag.
40. Lawrence, R. C., Felson, D. T., Helmick, C. G., Arnold, L. M., Choi, H., Deyo, R. A., ... & Jordan, J. M. (2008). Estimates of the prevalence of arthritis and other rheumatic conditions in the United States: Part II. *Arthritis & Rheumatology*, 58(1), S. 26-35.

41. Leopold, S. S., Redd, B. B., Warme, W. J., Wehrle, P. A., Pettis, P. D., & Shott, S. (2003). Corticosteroid compared with hyaluronic acid injections for the treatment of osteoarthritis of the knee: a prospective, randomized trial. *JBJS*, 85(7), 1197-1203.
42. Liebensteiner, M. C., Kern, M., Haid, C., Kobel, C., Niederseer, D., & Krismer, M. (2010). Brake response time before and after total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *BMC musculoskeletal disorders*, 11(1), S. 267.
43. Lo, G. H., LaValley, M., McAlindon, T., & Felson, D. T. (2003). Intra-articular hyaluronic acid in treatment of knee osteoarthritis: a meta-analysis. *Jama*, 290(23), 3115-3121.
44. Lorbach, O., Anagnostakos, K., Scherf, C., Seil, R., Kohn, D., & Pape, D. (2010). Nonoperative management of adhesive capsulitis of the shoulder: oral cortisone application versus intra-articular cortisone injections. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 19(2), 172-179.
45. Lützner, J., Hübel, U., Kirschner, S., Günther, K. P., & Krummenauer, F. (2011). Langzeitergebnisse in der Knieendoprothetik. *Der Chirurg*, 82(7), 618-624.
46. MacDonald, W. A. R. R. E. N., & Owen, J. W. (1988). The effect of total hip replacement on driving reactions. *Bone & Joint Journal*, 70(2), S. 202-205.
47. Maretzke S., Schlömer C.. *dvs Netzwerk ländliche Räume*. Abgerufen am 18. April 2016 von dvs Netzwerk ländliche Räume: <https://www.netzwerk-laendlicher-raum.de/themen/demografischer-wandel/einfuehrung/info-bevoelkerung/>
48. Marques, C. J., Barreiros, J., Cabri, J., Carita, A. I., Friesecke, C., & Loehr, J. F. (2008). Does the brake response time of the right leg change after left total knee arthroplasty? A prospective study. *The Knee*, 15(4), S. 295-298.
49. Marques, C. J., Cabri, J., Barreiros, J., Carita, A. I., Friesecke, C., & Loehr, J. F. (2008). The effects of task complexity on brake response time before and after primary right total knee arthroplasty. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 89(5), S. 851-855.
50. Math, R., Mahr, A., Moniri, M. M., & Müller, C. (2012, October). OpenDS: A new open-source driving simulator for research. In *Proceedings of the International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Adjunct Proceedings* (pp. 7-8).
51. Niethard, F. U., Pfeil, J., & Biberthaler, P. (2014). *Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie*. Georg Thieme Verlag.
52. Ong, K. L., Anderson, A. F., Niazi, F., Fierlinger, A. L., Kurtz, S. M., & Altman, R. D. (2016). Hyaluronic acid injections in medicare knee osteoarthritis patients are associated with longer time to knee arthroplasty. *The Journal of arthroplasty*, 31(8), S. 1667-1673.
53. Pauzié, A. (2008). A method to assess the driver mental workload: The driving activity load index (DALI). *IET Intelligent Transport Systems*, 2(4), 315-322.

54. Pendleton, A., Arden, N., Dougados, M., Doherty, M., Bannwarth, B., Bijlsma, J., ... & Hauselmann, H. J. (2003). EULAR-Richtlinien für die Behandlung von Kniegelenksarthrose: Bericht der Arbeitsgruppe des Standing Committees for International Clinical Studies Including Therapeutic Trials (ESCISIT). *Journal für Mineralstoffwechsel*, 10(3), S. 23-31.
55. Pierson, J. L., Earles, D. R., & Wood, K. (2003). Brake response time after total knee arthroplasty: when is it safe for patients to drive?. *The Journal of arthroplasty*, 18(7), S. 840-843.
56. Pollert, A., Kirchner, B., Polzin, J. M., & Pollert, M. C. (2016). *Duden Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag*. Bibliographisches Institut GmbH.
57. Pötzsch, O., & Rößger, F. (2015). Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. *Statistisches Bundesamt, Wiesbaden*.
58. Rabenberg, M. (2013). *Gesundheitsbericht des Bundes, Themenheft 54, Arthrose*. Berlin: Robert Koch-Institut.
59. Ranawat, C. S., Insall, J. O. H. N., & Shine, J. A. C. K. (1976). Duo-condylar knee arthroplasty: hospital for special surgery design. *Clinical orthopaedics and related research*, (120), 76-82.
60. Scott, P. A., Candler, P. D., & Li, J. C. (1996). Stature and seat position as factors affecting fractionated response time in motor vehicle drivers. *Applied ergonomics*, 27(6), S. 411-416.
61. Söder, S., & Aigner, T. (2011). Arthrose. Ätiologie, Typisierung, Stadieneinteilung und histologische Graduierung. *Pathologie*, 32(3), 183-192.
62. Spalding, T. J., Kiss, J., Kyberd, P., Turner-Smith, A., & Simpson, A. H. (1994). Driver reaction times after total knee replacement. *Bone & Joint Journal*, 76(5), S. 754-756.
63. Statistisches Bundesamt. (2012). *Bundeszentrale für politische Bildung*. Abgerufen am 7. April 2016 von Bundeszentrale für politische Bildung: <http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61547/lebenserwartung>
64. Statistisches Bundesamt. (2015). *Bundeszentrale für politische Bildung*. Abgerufen am 7. April 2016 von Bundeszentrale für politische Bildung: <http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61541/altersstruktur>
65. Statistisches Bundesamt. (2015). Die Generation 65+ in Deutschland. (W. Statistisches Bundesamt, Hrsg.) *Die Generation 65+ in Deutschland*.
66. Stryker. *stryker*. Abgerufen am 15. April 2016 von stryker: <http://www.stryker.com/enus/products/Orthopaedics/KneeReplacement/Primary/Triathlon/index.htm#>
67. Stryker. *stryker*. Abgerufen am 16. April 2016 von stryker: <http://www.stryker.com/enus/products/Orthopaedics/KneeReplacement/Revision/TriathlonTS/index.htm>

68. Sütterlin, S. (2008). *Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung*. Abgerufen am 6. April 2016 von Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung: http://www.berlininstitut.org/fileadmin/user_upload/handbuch_texte/pdf_Suetterlin_Deutschland.pdf
69. Tschannen, M., & Gertsch, U. (2007). *Mobilität im Alter: Fokus Siedlungs-und Verkehrsplanung: Bericht über den Fachkongress Mobilität im Alter, Schwerpunkt Siedlungs-und Verkehrsplanung vom 18. März 2005 in Thun*. Weissensee Verlag.
70. Van Saase, J. L., Van Romunde, L. K., Cats, A. R. N. O. L. D., Vandenbroucke, J. P., & Valkenburg, H. A. (1989). Epidemiology of osteoarthritis: Zoetermeer survey. Comparison of radiological osteoarthritis in a Dutch population with that in 10 other populations. *Annals of the rheumatic diseases*, 48(4), S. 271-280.
71. Weber, M. A., & Streich, N. (Eds.). (2017). *Kompendium orthopädische Bildgebung: Das Wesentliche aus orthopädischer und radiologischer Sicht*. Springer-Verlag.
72. Wirth, C. J., Mutschler, W. E., Kohn, D., & Pohlemann, T. (Eds.). (2013). *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. Georg Thieme Verlag.
73. Woitzek, K. (2012). Ibuprofen/paracetamol combination therapy is more effective than monotherapy in knee pain, but increases bleeding risk. *Praxis*, 101(6), S. 427-428.
74. Yorke, J., Lloyd-Williams, M., Smith, J., Blackhall, F., Harle, A., Warden, J., ... & Molassiotis, A. (2015). Management of the respiratory distress symptom cluster in lung cancer: a randomised controlled feasibility trial. *Supportive care in cancer*, 23(11), 3373-3384.

11 Anhang

Anlage 1

Schriftliche Einverständniserklärung des Patienten zur Teilnahme an einer klinischen Studie

- Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch.
- Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas nicht verstehen oder wissen möchten.

| | |
|---|---|
| Titel der Studie: | Klinische Studie am Fahrsimulator |
| Ort der Studie: | Orthopädie UKS |
| Prüfer: Name und Vorname: | Prof. Dr. med. Konstantinos Anagnostakos Dr. med. Nora Diehl |
| Patientin/Patient Name und Vorname: Geburtsdatum: Gruppe/Proband: | <div><input type="checkbox"/> männlich</div> <div><input type="checkbox"/> weiblich</div> |

- Ich wurde vom unterzeichnenden Prüfer mündlich und schriftlich darauf hingewiesen, dass während des Tests Übelkeit und Schwindel auftreten können. In diesem Fall werde ich mein subjektives Unwohlsein den anwesenden Versuchsleitern umgehend melden. Mir ist bewusst, dass der Test in diesem Falle jederzeit abgebrochen werden kann.
- Ich wurde vom unterzeichnenden Prüfer mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf der Studie, über die zu erwartenden Wirkungen, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind mir zufriedenstellend beantwortet worden. Ich erhalte eine Kopie meiner schriftlichen Einverständniserklärung.
- Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zu treffen.
- Ich weiß, dass meine persönlichen Daten nur in pseudonymisierter Form an außenstehende Institutionen zu Forschungszwecken weitergegeben werden. Ich weiß außerdem, dass meine persönlichen Daten und Testergebnisse nicht an außenstehende Behörden (z.B. Polizei, TÜV) weitergegeben werden und dass die Testergebnisse keinen Einfluss auf meine bestehende Fahrlizenz haben werden.
- Ich nehme an dieser Studie freiwillig teil. Ich kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen, ohne dass mir deswegen Nachteile bei der weiteren medizinischen Betreuung entstehen. In diesem Fall werde ich zu meiner Sicherheit abschließend medizinisch untersucht.

- Im Interesse meiner Gesundheit kann mich der Prüfer jederzeit von der Studie ausschließen. Zudem orientiere ich den Prüfer über die gleichzeitige Behandlung bei einem anderen Arzt sowie über die Einnahme von Medikamenten (vom Arzt verordnete oder selbständig gekaufte).

| | |
|------------|--|
| Ort, Datum | Unterschrift der Patientin/des Patienten |
|------------|--|

Bestätigung des Prüfers: Hiermit bestätige ich, dass ich diesem Patienten/dieser Patientin Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie erläutert habe. Ich versichere, alle im Zusammenhang mit dieser Studie stehenden Verpflichtungen zu erfüllen. Sollte ich zu irgendeinem Zeitpunkt während der Durchführung der Studie von Aspekten erfahren, welche die Bereitschaft der Patientin/des Patienten zur Teilnahme an der Studie beeinflussen könnten, werde ich sie/ihn umgehend darüber informieren.

| | |
|------------|--------------------------|
| Ort, Datum | Unterschrift der Prüfers |
|------------|--------------------------|

Anmerkung:

Wenn Sie sich für die Ergebnisse der Studie interessieren, haben Sie nachfolgend die Möglichkeit Ihre Telefonnummer und Ihre Adresse zu hinterlassen. Wir versichern Ihnen, dass Ihre persönlichen Daten nicht an Dritte weitergeleitet werden. Wir bitten um Verständnis, dass wir aus wirtschaftlichen und ethischen Gründen nicht Ihre persönlichen Ergebnisse weiterleiten werden, sondern die gemittelten Ergebnisse aus allen Studiendaten.

☐ Nein, ich habe **kein** Interesse an den Ergebnissen der Studie.

☐ Ja, ich habe Interesse an den Ergebnissen der Studie.

Ich bitte Sie, mich über folgende Adresse oder Telefonnummer zu informieren:

Name : _____

Vorname: _____

Straße: _____

PLZ: _____

Ort: _____

Tel. nr. _____

Anlage 2

Untersuchung Kniegelenk Fahrsimulator

Patientenname und Geburtsdatum:

Gruppe/Proband:

Untersuchungstag:

Seite:

Gewicht: _____

Körpergröße: _____

Ausschlusskriterien:

- ☐ Aktive Teilnahme am Straßenverkehr
- ☐ Keine Frakturen oder Vor-OP's am zu untersuchenden Gelenk oder Nachbargelenk
- ☐ Kein Wirbelsäulenleiden mit Lumboischialgie in betreffende Extremität
- ☐ Keine Paresen
- ☐ Keine Entzündungen
- ☐ Keine neurologischen Grunderkrankungen (MS, Parkinson usw.)
- ☐ Kein Flexionsdefizit (kleiner 90°)
- ☐ Keine nicht ausgeglichene Einschränkung der Sehfähigkeit

Begleiterkrankungen vorhanden?

- ☐ NEIN
 - ☐ JA. Welche?
-

Untersuchungsbefund:

Haut und Weichteile:

☐ reizlos

☐ nicht reizlos

DS:

☐ retropatellar

☐ med. GS

☐ lat. GS

Meniscus:

☐ IM positiv

☐ AM positiv

Bänder:

medial:

lateral:

VKB:

HKB:

ROM:

E/F

pDMS:

Bemerkungen:

Röntgen:

Anlage 3

Score nach Ranawat und Shine (HSS)

| | | <u>Punkte</u> |
|--------------------|--|---------------|
| <u>Schmerz</u> | Kein Schmerz | 30 |
| | Kein Schmerz beim Gehen | 15 |
| | Geringer Schmerz beim Gehen | 10 |
| | Mäßiger Schmerz beim Gehen | 5 |
| | Starker Schmerz beim Gehen | 0 |
| | Kein Schmerz im Ruhezustand | 15 |
| | Geringer Schmerz im Ruhezustand | 10 |
| | Mäßiger Schmerz im Ruhezustand | 5 |
| | Starker Schmerz im Ruhezustand | 0 |
| <u>Funktion</u> | Gehen und Stehen nicht eingeschränkt | 12 |
| | Gehdistanz 5-10 Blocks, Stehfähigkeit eingeschränkt (< 30 min) | 10 |
| | Gehdistanz 1-5 Blocks, Stehfähigkeit eingeschränkt (bis 30 min) | 8 |
| | Gehdistanz < 1 Block | 4 |
| | Gehfähigkeit aufgehoben | 0 |
| | Treppensteigen möglich ohne Hilfe | 5 |
| | Treppensteigen möglich ohne Hilfe | 2 |
| | Mobilisation ohne Hilfe | 5 |
| | Mobilisation mit Hilfe | 2 |
| <u>ROM</u> | 1 Punkt für jede 8° Bewegungsausmaß, max. 18 Punkte | |
| <u>Muskelkraft</u> | Gut: Quadricepskraft kann nicht „gebrochen“ werden | 10 |
| | Gut: Quadricepskraft kann „gebrochen“ werden | 8 |
| | Mittel: möglich im Rahmen der ROM | 4 |
| | Schlecht: nicht möglich im Rahmen der ROM | 0 |

| | | |
|---------------------|-----------------------|----|
| <u>Beuge-</u> | Keine Deformität | 10 |
| <u>deformität</u> | wenige Grade | 8 |
| | 5°-10° | 5 |
| | 11° oder mehr | 0 |
| <u>Instabilität</u> | keine | 10 |
| | Gering (0°-5°) | 8 |
| | Mäßig (6°-15°) | 5 |
| | Stark (16° oder mehr) | 0 |
| <u>Subtraktion</u> | 1 Stock | 1 |
| | 1 Gehstütze | 2 |
| | 2 Gehstützen | 3 |
| | Streckdefizit 5 ° | 2 |
| | Streckdefizit 10 ° | 3 |
| | Streckdefizit 15 ° | 5 |
| | Alle 5° Varus | 1 |
| | Alle 5° Valgus | 1 |

Anlage 4

VISUELLE ANALOGSKALA - U

SCHMERZEN

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

1

10

Schmerzfrei

Sehr starke Schmerzen

FUNKTION

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

1

10

Keine Funktion

Optimale Funktion

ZUFRIEDENHEIT

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

1

10

Nicht zufrieden

Sehr zufrieden

Bitte kreuzen Sie in der jeweiligen Skala (von 1 bis 10) das zutreffende Kästchen an. Es

bezieht sich auf den Zustand in dem sie sich im Alltag befinden.

Anlage 5

Lieber Teilnehmer,

Sie werden nun eine Fahrt im Fahrsimulator absolvieren. Diese Fahrt findet auf der Autobahn auf einer geraden Strecke ohne Kurven statt. Sie fahren in der Mitte einer Autokolonne, d.h. vor und hinter Ihnen fährt jeweils ein Auto (*siehe Screenshot, Hinweis auf Rückspiegel*). Die beiden Autos reagieren auf Ihre Geschwindigkeitsanpassungen, werden also langsamer, wenn Sie langsamer werden und beschleunigen auch, wenn Sie beschleunigen.

Bitte fahren Sie immer in der Mitte der rechten Spur, fahren Sie stets hinter dem vorderen Auto und überholen Sie nicht.

Bitte versuchen Sie, eine Geschwindigkeit von circa 90 km/h zu halten und dabei einen Sicherheitsabstand von 35 Metern nach vorne einzuhalten. Dieser Abstand wird Ihnen in der ersten Fahrt noch eingeblendet, damit Sie ein Gefühl dafür bekommen.

Hierzu machen wir nun zunächst eine kurze Gewöhnungsfahrt [*Beispielfahrt 1*]. *Hinweis, dass Abstandsanzeige hier stets eingeblendet ist, aber in folgenden Fahrten nur noch kurz zu Beginn. Sicherstellen, dass die Bedienung (Lenkrad, Pedale) verstanden wird sowie die Sitzposition passend und angenehm ist. Nachfragen, ob in Ordnung.*

Bitte achten Sie beim Fahren auf drei verschiedene Ereignisse, auf die Sie sofort beim Erkennen folgendermaßen reagieren sollen:

1. Das vordere Auto bremst plötzlich, d.h. sein Bremslicht leuchtet auf und es wird abrupt langsamer.
Bitte betätigen Sie dann so schnell und kräftig wie möglich die Bremse und halten Sie den Sicherheitsabstand ein. Das vordere Auto wird anschließend wieder auf 90 km/h beschleunigen. Bitte versuchen Sie dann, so schnell wie möglich wieder aufzuschließen, sodass die vorherige Geschwindigkeit von etwa 90 km/h sowie der Abstand von 35 Metern wiederhergestellt sind.
2. Das vordere Auto wird etwas langsamer, ohne zu bremsen (kein Bremslicht).
Bitte betätigen Sie dann ebenfalls die Bremse und halten Sie den Sicherheitsabstand ein. Das vordere Auto wird anschließend wieder auf 90 km/h beschleunigen. Bitte versuchen Sie dann, so schnell wie möglich wieder aufzuschließen, sodass die vorherige Geschwindigkeit von etwa 90 km/h sowie der Abstand von 35 Metern wiederhergestellt sind.
3. Das hintere Auto blinkt links.
Betätigen Sie bitte die Taste auf dem Lenkrad (*Hinweis: das hintere Auto überholt nicht*)

Damit Sie sich an diese Ereignisse gewöhnen können machen wir wieder eine kurze Übungsfahrt [*Beispielfahrt2*].

Hinweis, dass die Abstandsanzeige ab dem Startschild ausgeblendet wird und nun die Orientierung ohne diese Hilfe klappen sollte. Sicherstellen, dass die Ereignisse klar sind und adäquat reagiert wird.

Ggf. Beispielfahrt(en) wiederholen, falls VP unsicher.



Anlage 6

VISUELLE ANALOGSKALA - T

SCHMERZEN

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | 10 |

Schmerzfrei

Sehr starke Schmerzen

FUNKTION

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | 10 |

Keine Funktion

Optimale Funktion

ZUFRIEDENHEIT

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | 10 |

Nicht zufrieden

Sehr zufrieden


Bitte kreuzen Sie in der jeweiligen Skala (von 1 bis 10) das zutreffende Kästchen an. Es

bezieht sich auf den Zustand in dem sie sich während des Tests im Fahrsimulator befanden.

Anlage 7

Vpn:
Bedingung:

Messung der Beanspruchung

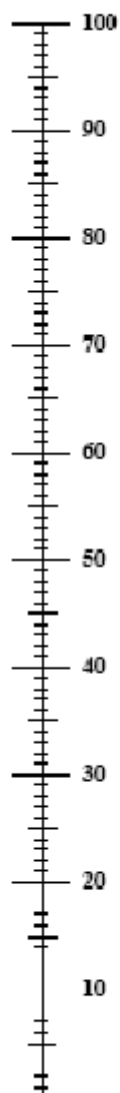
| | Gering  Hoch |
|------------------------|---|
| Globale Aufmerksamkeit | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Visuelle Anforderung | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Auditive Anforderung | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Motorische Anforderung | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Stress | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Zeitliche Anforderung | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Interferenz | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Anlage 8

EuroQoI-VAS (Visuelle Analogskala)

Wir möchten Sie bitten auf der Skala zu kennzeichnen, wie gut oder wie schlecht Ihrer Ansicht nach Ihre persönliche Einschätzung Ihrer Fahrtüchtigkeit zum heutigen Zeitpunkt ist. Bitte markieren Sie den Punkt auf der Skala, der Ihr subjektives Empfinden am besten wiedergibt.

Ich fühle mich komplett fahrtüchtig



Ich fühle mich überhaupt nicht fahrtüchtig

Anlage 9

Im Folgenden finden Sie eine Reihe von Aussagen zu der Fahrsimulation, mit der Sie im Experiment vertraut gemacht wurden. Bitte geben Sie an, inwieweit die jeweilige Aussage Ihrer eigenen Meinung entspricht bzw. Ihr eigenes Verhalten widerspiegelt. Bitte beurteilen Sie jede Aussage in Bezug zu dieser soeben absolvierten Fahraufgabe im Fahrsimulator:



Hierzu steht Ihnen diese siebenstufige Skala zur Verfügung:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------|-----------------|----------------------|---------|----------------|-----------|-----------------------|
| Trifft überhaupt nicht zu | Trifft nicht zu | Trifft eher nicht zu | Neutral | Trifft eher zu | Trifft zu | Trifft vollständig zu |

Bitte bearbeiten Sie jede Aussage so spontan wie möglich, ohne langes Überlegen. Bedenken Sie, dass es keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten gibt – nur Ihre persönliche Meinung zählt. Wichtig ist, dass Sie jede Aussage bearbeiten.

| | Trifft überh aupt nicht zu | Trifft nicht zu | Trifft eher nicht zu | Neutr al | Trifft eher zu | Trifft zu | Trifft vollst ändig zu |
|---|--|-----------------------|-------------------------------|-------------|----------------------|--------------|---------------------------------|
| 1. Ich habe die Fahraufgabe gut verstanden. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2. Ich konnte die Fahraufgabe problemlos meistern. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 3. Meine Leistung in der Fahraufgabe war gut. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4. Die Fahraufgabe hat mich mental belastet. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 5. Ich fühlte mich beim Fahren insgesamt sicher und der Aufgabe gewachsen. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6. Ich glaube, dass ich momentan sicher am echten Straßenverkehr teilnehmen könnte. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihr körperliches Empfinden während des Fahrens.

| | Trifft überh aupt nicht zu | Trifft nicht zu | Trifft eher nicht zu | Neutr al | Trifft eher zu | Trifft zu | Trifft vollst ändig zu |
|--|--|-----------------------|-------------------------------|-------------|----------------------|--------------|---------------------------------|
| 7. Ich empfand das Fahren als körperlich anspruchsvoll. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8. Ich fühlte mich körperlich eher unsicher. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 9. Ich hatte Probleme, die Bremse zu betätigen. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 10. Ich hatte ein stabiles Gefühl in meinem Kniegelenk. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 11. Ich hatte Schmerzen / Beschwerden im Knie. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 12. Die Aufgabe war hinsichtlich der Belastung für mein rechtes Kniegelenk problemlos zu bewältigen. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 13. Das Fahren im Simulator war für mich irritierend. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

14. Häufigkeit des Autofahrens:

- Ich fuhr in den letzten drei Monaten durchschnittlich an ____ Tagen pro Woche Auto.
- Meine jährliche Kilometerleistung lag in den letzten Jahren bei etwa ____ Kilometern.

Anlage 10

Schmerzmitteleinnahme

Ich bin wegen meinen Schmerzen in Hüfte/bzw. Knie regelmäßig auf die Einnahme von Schmerzmedikamenten angewiesen

JA _____ NEIN _____

Bei ja: welche Schmerzmedikamente nehmen Sie ein und wie häufig

(z.B. Ibuprofen 400 3x täglich, oder Voltaren bei Bedarf ca. 2x/Woche)